Studien über Atmung und tote Oxydation

von

Dr. Viktor Grafe.

Aus dem pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien.

(Mit 1 Tafel und 1 Textfigur.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 30. März 1905.)

Seit Buchner's Entdeckung der zellfreien Gärung, seit der Isolierung der Zymase, läßt sich ein neuer Einschlag in der Richtung konstatieren, welche die biochemischen Erklärungsversuche für die Lebensvorgänge der Pflanze nehmen. Zahlreiche Prozesse, für welche die Lebenstätigkeit des Protoplasmas schlechtweg die einzige Erklärung bildete, werden seitdem als Resultate von Enzymwirkungen dargestellt, die mit der eigentlichen plasmatischen Tätigkeit nur insoferne zusammenhängen, als natürlich erst durch diese die Produktion der Enzyme erfolgt. Zunächst waren es die Vorgänge der intramolekularen und normalen Atmung, welche man auf Enzymwirkungen zurückzuführen suchte, worauf ich später noch zurückkommen werde. Auch bezüglich der Kohlensäureassimilation wurden vor einiger Zeit derartige Anschauungen ausgesprochen. Wenigstens gaben Friedel[1] und Regnard[2] an, es sei ihnen gelungen, außerhalb der pflanzlichen Zelle und unabhängig vom lebenden

---

[1] Comptes rend., *132*, 1138 (1901), Jean Friedel; L'assimilation chlorophylienne realisée en dehors de l'organisme vivant.

[2] Ebendas., *101*, 1293.

Plasma mit toten Extraktivstoffen der betreffenden Pflanzen »Photosynthese« zu bewirken. Während Kny,[1] Harroy,[2] Jodin[3] und Herzog[4] diese Behauptung nicht bestätigen konnten, stimmte Macchiati[5] derselben auf Grund eigener Versuche zu, führt das Mißlingen der ebendahin abzielenden späteren Versuche Friedel's[6] auf äußere Umstände zurück und nimmt wie schon früher Baranetzky[7] an, daß der wesentliche Faktor der Assimilation ein Enzym sei, das sich aus dem Glyzerinextrakte der Blätter, vorausgesetzt, daß diese zur richtigen Zeit verwendet werden, durch Benzol fällen lasse. Molisch[8] wiederholte Friedel's Versuche unter Anwendung der außerordentlich feinen Leuchtbakterienmethode zur Konstatierung des abgegebenen Sauerstoffs; er fand Friedel's Angaben ebenfalls nicht bestätigt, sprach sich aber trotzdem dahin aus, daß der Anschauung, die Kohlensäureassimilation sei an die lebende Substanz geknüpft, keine allgemeine Bedeutung zukomme und dies auf Grund der Tatsache, daß Blätter von *Lamium album*, die bei 35° C. getrocknet, rauschdürr und sicherlich nicht mehr lebensfähig waren, noch immer Kohlensäure aufnahmen und Sauerstoff abgaben. Nun ist es aber vielleicht nicht ganz statthaft, von einer postmortalen Assimilation zu sprechen, da man nicht ohneweiters sagen kann, der Organismus sei tot, wenn er nicht mehr lebensfähig ist. Gewiß waren die bei 35° C. getrockneten *Lamium*blätter nicht mehr lebensfähig; nun hat aber Wiesner[9] einige Fälle angeführt, wo durch Frost und Regen nach vorhergegangener Trockenperiode Blätter in vollkommen intaktem, lebendem Zustand abgefallen waren. Diese sind dann allerdings nicht mehr entwicklungsfähig, ohne daß sie deshalb

---

[1] Bericht der D. bot. Ges., *15*, 388.

[2] Comptes r., *133*, 890.

[3] Ebendas., *102*, 767.

[4] Hoppe-Seyler's Zeitschrift für physiol. Chemie, *35*, 459.

[5] Comptes r., *135*, 1128.

[6] Ebendas., *133*, 840. Sur l'assimilation chloroph. en automne.

[7] E. v. Lippmann, Chemie der Zuckerarten, II, 1756.

[8] Bot. Zeitg., 62. Jahrg. (1904). Heft 1.

[9] Wiesner, Über Frostlaubfall. Ber. der D. bot. Ges. H. 23, p. 49 (1905).

tot zu nennen wären. Sie zeigen z. B. noch längere Zeit hindurch eine ganz regelrechte Atmung, sie nehmen Sauerstoff auf und geben Kohlendioxyd ab.

Um nicht mißverstanden zu werden, möchte ich hier einschalten, daß, wie bekannt, Samen, Sporen in ihrem Entwicklungsvermögen nichts verlieren, wenn sie auch lufttrocken geworden waren. Wiesner[1] hat gezeigt, daß man Hefe absolut wasserfrei machen kann, ohne daß sie, wenn die spätere Wasserzufuhr nur allmählich geschieht, die Fähigkeit zur Weiterentwicklung verlieren würde. Aber Blätter und wohl alle Vegetationsorgane verlieren durch Austrocknen das Vermögen der Weiterentwicklung; ob sie im eingetrockneten Zustande als tot zu bezeichnen sind, ist eine andere Frage. Es sollte nachgewiesen werden, wie sich nun trocken gewordene Hefe oder die Blätter verhalten, wenn man sie rücksichtlich ihrer Oxydation mit normal atmender Hefe, beziehungsweise Blättern vergleicht.

Von diesen Betrachtungen ausgehend, gelangte ich auf Veranlassung des Herrn Hofrates Professor Dr. Julius Wiesner dazu, das Phänomen der Atmung bei pflanzlichen Organismen unter verschiedenen Verhältnissen, sowohl bei solchen, die durch gewöhnliche Temperatur trocken geworden waren, als auch namentlich bei Einfluß hoher Temperaturen, zu studieren. Das erste Moment, welches ich konstatieren konnte, war eine verhältnismäßig hohe Resistenz des lebenden Plasmas gegen die Einwirkung hoher Temperaturen bei Hefe. Aber selbst nach dem Einwirken von Temperaturen, bei denen eine Erhaltung des Lebens unmöglich mehr angenommen werden konnte, zeigte sich ein, wenn auch erheblich schwächerer, so doch immerhin völlig bestimmbarer Gaswechsel im Sinne der Atmung bei den betreffenden Organismen. Diese Erscheinung ist es, welche Wiesner mit dem Worte »tote Oxydation« bezeichnet. Nachdem im hiesigen Institut unter Wiesners Leitung durchgeführte qualitative Versuche von H. Hruby (noch nicht veröffentlicht) ergeben hatten, daß sowohl durch ein-

[1] J. Wiesner, Mikroskop. Untersuchungen, Stuttgart 1872.

faches Trocknen an der Luft veränderte, als auch durch verschieden hoch getriebene Temperaturen getrocknete Blätter noch evident CO_2 abgaben, wenn sie auf den früheren Wassergehalt gebracht wurden, ging ich daran, die bezüglichen quantitativen Verhältnisse unter allen Vorsichtsmaßregeln der Asepsis zu ermitteln.

Methode:

Zur Analyse des aufgenommenen, respektive der abgegebenen Gase bediente ich mich der Absorptionsmethode mit nachfolgender Wägung;[1] denn diese Methode eignet sich nach Hempel[2] sehr gut zur Bestimmung ganz kleiner Gasquantitäten in einem großen Volumen anderer Gase. Zur Aufnahme des zu untersuchenden Objektes diente der Rundkolben *A* (Fig. 1), dessen weiter Hals durch einen gut schließenden Kautschukstöpsel geschlossen war. In den kreisrunden Ausschnitt dieses Stöpsels war die Hülse *h* eng eingepaßt, deren unterer Rand matt geschliffen ist. Das obere Ende der Hülse trägt wieder einen Kautschukstöpsel, durch dessen Bohrung eine Meßbürette mit Glyzerin sorgfältig eingepaßt ist, deren oberes Ende ein kubiziertes Gefäß zur Aufnahme einer Flüssigkeit, deren unteres Ende ein Glaskörbchen *k* für das Untersuchungsobjekt trägt, derart, daß die Spitze der Bürette ins Körbchen etwas hineinragt. Durch Auf- und Abwärtsbewegen der Bürette kann man das Körbchen, welches in die Hülse eingerieben ist, so in dieselbe hineindrehen, daß der Inhalt des Körbchens gasdicht gegen den Kolbenraum abgeschlossen ist, respektive das Körbchen samt Inhalt in Kontakt mit dem Kolben bringen (Fig. 2). Man hat es nun in der Hand, beliebige Bedingungen im Kolben herzustellen, Luftleere oder Füllung mit einem Gas, das Objekt aber erst dann unter diese Bedingungen zu bringen, wenn man es wünscht. War das Einhalten dieser Maßregeln nicht notwendig,

---

[1] Fresenius, Quantit. Analyse II, 754. Pfeffer, Pflanzenphysiologie I, 528. Chudiakow, Landw. Jahrb., Bd. 23, 400. Tafel II (1894); Kreusler, l. c. 14, 916.

[2] Hempel, Gasanalytische Methoden, III. Aufl. (1900), p. 93, 94.

so bediente ich mich eines ganz ähnlichen Kolbens, nur ohne Hülse, aber mit einem Glaskörbchen, welches mittels Platindrahtes an zwei Glashäkchen der Bürette zu befestigen war und den Vorteil bot, für sich gewogen werden zu können. In den Bauch, respektive Hals des Kolbens waren die mit Glashähnen versehenen Röhren *p* und *r* eingelassen, welche ein Durchspülen des Kolbens mittels eines Gases ermöglichten. Die entwickelte CO_2 wurde durch Absorption mittels Natronkalkröhren und nachfolgende Wägung quantitativ ermittelt. Zur Bestimmung des aufgenommenen Sauerstoffes ging ich folgendermaßen vor: Die gewogene Menge des betreffenden Organismus wurde in das Körbchen gebracht, der Kolben geschlossen und hierauf mittels der Wasserstrahlpumpe ein Vakuum von 10 *mm* erzeugt. Hierauf wurde das Körbchen eingedreht und durch Rohr *p* aus der Sauerstoffbombe unter Geschlossenhalten aller übrigen Hähne vorsichtig ein Sauerstoffstrom in den Kolben geschickt, wobei natürlich darauf zu achten war, daß die Waschflasche, welche das Gas, bevor es in den Kolben gelangte, zu passieren hatte, mit Sauerstoff gefüllt war. Als das Aufhören des Aufsteigens von Gasblasen in der Waschflasche das völlige Erfülltsein des Kolbens mit Sauerstoff anzeigte, was jederzeit gelingt, wenn die Gaszufuhr sorgfältig reguliert ist, wurde der Glashahn *p* und die Bombe geschlossen und das Körbchen samt Inhalt durch Hinunterdrehen unter Sauerstoffatmosphäre gesetzt. Durch wiederholte Versuche war der Inhalt des Kolbens genau ermittelt worden, indem unter völlig gleichen Bedingungen, wie eben dargelegt (Auspumpen auf 10 *mm* und mit eingedrehtem Körbchen), eine Füllung mit Sauerstoff bewerkstelligt, der Sauerstoff dann herausgesogen, in gleich zu beschreibenden Absorptionsapparaten aufgefangen und seine Menge durch die Gewichtszunahme derselben bestimmt wurde. Die Füllung geschah jedesmal bei der thermostatisch festgehaltenen Temperatur von 25° und bei der Rechnung wurde naturgemäß der herrschende Barometerstand berücksichtigt. Auf diese Weise war jedesmal die Sauerstoffmenge genau gegeben, welche dem Organismus zur Verfügung stand; die Differenz zwischen dieser und der nach der Operation zurückgebliebenen, durch

Absorption und Gewichtszunahme ermittelten Sauerstoffquantität gab dann die Sauerstoffmenge an, welche der Organismus verbraucht hatte. Soweit die Versuche mit grünen Blättern ausgeführt wurden, war dafür Sorge getragen, daß zur Verhütung etwaiger Assimilationsvorgänge der Kolben mit einem schwarzen Tuch umhüllt war. Die Temperatur des Raumes schwankte zwischen 15—19° C. Die Absorption des Sauerstoffes wurde nach dem Lindemann'schen Verfahren durch gelben Phosphor vorgenommen. Die Phosphorstangen wurden hiezu bei 48° unter Wasser in einem engen, hohen Becherglas geschmolzen und in die geschmolzene Masse ein konisches Glasröhrchen von etwa 2—3 *mm* Weite getaucht; schließt man die eine Seite des Röhrchens mit dem Finger und hebt dasselbe aus dem Phosphor in eine bereitstehende Schale mit kaltem Wasser, so erstarrt das in die Röhre eingedrungene Phosphorquantum zu einer dünnen Stange, die beim Erkalten ihr Volumen so vermindert, daß sie von selbst in das Wasser fällt. Derartige Phosphorstängelchen wurden in ein von mir konstruiertes Absorptionsgefäß so gefüllt, daß sie dasselbe zu drei Vierteilen ausfüllten und die Zwischenräume mit destilliertem Wasser gefüllt. Die einfache Handhabung des Gefäßes ist aus Fig. III ersichtlich. Der Glasstöpsel *g* ist derart eingerieben, daß durch eine einfache Drehung des Stöpselgriffes die Kommunikation des Gefäßes mit dem eingeschmolzenen Röhrchen *a*, welches die Verbindung mit dem Entwicklungskolben vermittelt, hergestellt, beziehungsweise unterbrochen werden kann (Fig. IV). Ist eine derartige Kommunikation hergestellt (Stellung 1 in Fig. III), so ist durch die Bohrung *k* des Glasstöpsels auch die Verbindung mit dem Gasableiterröhrchen *b* bewirkt. An das Phosphorgefäß ist ein U-förmiges Chlorcalciumrohr angeschmolzen, welches eventuell entweichende Feuchtigkeit zurückhält. Die in den Stöpsel eingelassene Röhre *r*, welche eben zur Einleitung des Gases in den Apparat dient, reicht bis auf den Boden, so daß das Gas durch die ganze Phosphorschichte hindurchstreichen muß und trägt zur Vergrößerung der Absorptionsfläche eine Siebplatte. Die Kugel in der Mitte dient dazu, eventuelles Zurücksteigen von Wasser zu vermeiden. Alle in Verwendung

gelangenden Hähne sind wie überhaupt bei dem ganzen Apparat eingeriebene Glashähne. Das Absorptionsgefäß wiegt vollkommen montiert und gefüllt samt der gefüllten Chlorcalciumröhre 120 *g*;[1] zur Absorption des Sauerstoffes waren zwei derartige Gefäße hintereinandergeschaltet. Der gelbe Phosphor absorbiert bekanntlich sehr begierig und vollständig den Sauerstoff unter Leuchten und man konnte das Ende der Absorption im Dunkeln jedesmal sehr schön am Aufhören dieses Leuchtens erkennen. Die Oxydationsprodukte des Phosphors lösen sich in Wasser, so daß sich die frische Absorptionsoberfläche des Phosphors von selbst erneuert, wenn das Wasser zeitweilig durch frisches ersetzt wird, was nach je fünf Analysen geschah. Der Phosphor hingegen ist unbegrenzt lange gebrauchsfähig, vorausgesetzt, daß er vor der Einwirkung des Lichtes geschützt wird. Die Absorptionsgefäße wurden daher nach jeder Operation sorgfältig mit einem lichtdichten schwarzen Kasten bedeckt. Zur Absorption der CO_2 dienten mit körnigem Natronkalk[2] gefüllte U-Röhren und nicht Kaliapparate, da, wie Hasiwetz[3] gezeigt hat, die Kalilauge nicht nur CO_2, sondern auch O_2 absorbiert. An den Entwicklungskolben links angeschlossen ward eine U-Röhre mit $CaCl_2$, an diese noch eine zweite ebensolche und schließlich eine gerade, mit Phosphorsäureanhydrid gefüllte Kugelröhre, alle drei zum Trocknen der entwichenen Gase, hierauf eine U-Röhre mit Natronkalk und eine zweite, zur Hälfte mit $CaCl_2$, zur Hälfte mit Natronkalk gefüllt, ersteres, um aus dem Natronkalk entwickeltes Wasser zurückzuhalten. Dann folgten die beiden Phosphorgefäße mit ihren $CaCl_2$-Röhren, schließlich noch eine letzte $CaCl_2$-Röhre und ein Blasenzähler, der mit konzentrierter Schwefelsäure gefüllt, aber nicht gewogen wurde, sondern nur dazu diente, von außen keine Feuchtigkeit in den Apparat dringen zu lassen. Die Verbindung mit der Saugpumpe wurde durch eine Leiser'sche Druckflasche her-

[1] Sämtliche Apparate wurden nach meinen Angaben vom hiesigen Glasbläser Herrn C. Woytacek, IX. Frankgasse, verfertigt.

[2] Fresenius, Quantitative Analyse II, 755.

[3] Chem. Zentralblatt 1856, p. 517.

gestellt und so für eine beliebige Regulierung des Gasstromes Sorge getragen. Es ist noch zu erwähnen, daß die frischgefüllten $CaCl_2$-Rohre vorher mit reiner CO_2 gesättigt und sodann zwei Stunden Luft durchgeleitet wurde, da bekanntlich frisches $CaCl_2$ etwas CO_2 absorbiert. Die Natronkalkröhren wurden nach je drei Operationen frisch gefüllt. Die Schlauchverbindungen wurden durchwegs mit kurzen Vakuumschläuchen hergestellt und dafür gesorgt, daß die Röhren der aneinander geschalteten Gefäße sich unmittelbar in denselben berührten. Die Phosphorgefäße werden während der Operation zweckmäßig von Zeit zu Zeit geschüttelt. Rechts an den Entwicklungskolben ist ein Röhrensystem angeschlossen, abwechselnd mit $CaCl_2$ und kaustischem Kali gefüllt; daran reihen sich zwei mit Phosphor gefüllte Sauerstoffabsorptionsgefäße und an diese wieder ein Röhrensystem mit $CaCl_2$ und Natronkalk abwechselnd gefüllt. Diese Vorrichtung diente dazu, um zum Zwecke des Nachspülens Luft durch die Apparatur zu leiten und diese Luft vorher völlig von CO_2, Feuchtigkeit und Sauerstoff zu befreien.

I. Versuchsreihe:

Die ersten Versuche führte ich mit der Hefe, als einem einfachen Organismus aus. Verschieden hoch erhitzte, vorher getrocknete Hefe wurde in eine Sauerstoffatmosphäre gebracht und der Gaswechsel gemessen. Hiebei schien es mir nicht uninteressant, zu untersuchen, wie lange und in welchem Grade die Gärkraft der Hefe unter diesen Umständen erhalten blieb. Diese Frage hat bekanntlich unter den ersten Wiesner[1] zu entscheiden gesucht. Unter seiner Leitung vollendete auch Marie Manasseïn[2] eine Arbeit, welche der Buchner'schen Entdeckung präludierte und nur, weil sie in die Glanzepoche der Pasteur'schen Theorie fiel, wenig beachtet und erst in neuerer Zeit wieder ans Licht gezogen wurde.

[1] Wiesner, Mikroskopische Untersuchungen, Stuttgart 1872, p. 98.

[2] L. c. p. 116.

Wiesner zeigte, daß durch Operationen, welche geeignet sind, den Hefezellen Wasser zu entziehen, durch Evakuieren, Anwendung wasserentziehender Flüssigkeiten, Erhitzen auf höhere Temperatur durch Ausdehnung der Vakuolen schließlich das Plasma eingerissen wird, so daß sich die Vakuolenflüssigkeit in dasselbe ergießt. Solche Zellen nennt er abnorm vakuolisiert. Hefezellen, welche in einer Flüssigkeit erhitzt wurden, zeigten bei zirka 70° abnorme Vakuolisierung, in fein verteiltem Zustand trocken erhitzt, waren schon bei 45° sämtliche Zellen abnorm vakuolisiert. Doch konnte Wiesner zeigen, daß selbst auf 100° durch mehrere Stunden erhitzte Hefe nicht völlig tot war, sondern in Zuckerlösung noch sproßte und Gärung hervorzurufen vermochte, da die jungen, noch nicht vakuolisiert gewesenen Zellen bei dieser Temperatur noch nicht zu Grunde gegangen waren. Auch die Versuche Hoffmann's[1] wurden wiederholt, welcher bei auf 215° erhitzter trockener Hefe in Zuckerlösung noch hatte Gärung konstatieren können. Marie Manasseïn führte Gärversuche mit verschieden hoch erhitzter Hefe (Temperatur bis zu 245°) aus und konnte jedesmal das Auftreten von CO_2 und Alkohol dabei nach kürzerer oder längerer Zeit feststellen. Sie sprach auf Grund dieser Versuche den Satz aus,[2] daß lebende Hefezellen zur alkoholischen Gährung nicht notwendig seien, sondern daß das spezifische Ferment der Gärung in der lebenden Hefezelle selbst gebildet werde, ein Satz, der bekanntlich 25 Jahre später durch Buchner vollinhaltlich bestätigt wurde.

Meine Versuche mit verschieden hoch erhitzter Hefe wurden unter Zuhilfenahme folgender Kulturflüssigkeiten angestellt: 1. 10prozentige Zuckerlösung. 2. destilliertes Wasser. 3. eine Lösung enthaltend 5% Asparagin + 5% Chinasäure.

1. Hefe in Zuckerlösung.

Es wurde St. Marxer Preßhefe verwendet, welche ein verhältnismäßig reines Produkt darstellt. Die Hefe wurde nach

[1] Naturgeschichte der Hefe: Karstens bot. Unters. I, 341.

[2] Wiesner, Mikroskop. Unters., p. 128.

Buchner's[1] Vorschrift mehrmals mit destilliertem Wasser gewaschen, auf dem Büchnertrichter mittels der Pumpe abgepreßt, von anhaftendem Wasser zwischen Preßtüchern sorgfältig befreit, hierauf in ganz dünner Lage auf bei 150° im Trockenschrank sterilisierten Filtrierpapierbogen unter eine gut abgeflammte und mit Sublimatlösung 1 : 1000 gewaschene Glasglocke gebracht, in deren Tubus ein doppelt durchbohrter Kautschukstöpsel eingepaßt war; vermittels Glasröhren war nun einerseits die Verbindung mit einer mit Pyroxylin gefüllten Röhre, die ihrerseits an einen Rundkolben angeschlossen war, hergestellt, andrerseits durch eine ebensolche Röhre mit der Luftpumpe. In den Rundkolben, welcher durch eine Bunsenflamme geheizt war, gelangte die Luft durch eine Waschflasche mit konzentrierter Schwefelsäure, wurde im Kolben sterilisiert, passierte dann noch die Schießbaumwolle, strich keimfrei über die Hefe in der Glocke und wurde durch die Pumpe fortwährend hindurchgesogen; das zweite Rohr mit Schießbaumwolle sowie eine zweite Schwefelsäurewaschflasche verhinderten den Zutritt von Feuchtigkeit und Bakterienkeimen zur Glocke von der andern Seite. Diese Prozedur wurde fünf Tage hindurch fortgesetzt; der Hefeteig war zu einer spröden, gelblichweißen Masse geworden, die sich mit Leichtigkeit pulvern ließ. Hefe, welche in dieser Weise behandelt wurde, verlor beinahe das gesamte ihr mechanisch anhaftende Wasser, wenn man sie nachher einige Tage im Exsikkator über Schwefelsäure stehen ließ. Die vorgenommenen Trockenbestimmungen ergaben folgende Werte:

Frische Hefe: 28·2185 *g* ergaben nach vierstündigem Evakuieren an der Luftpumpe, hierauf Trocknen bei 100° durch 1^h, dann 24^h bei 120° bis zur Gewichtskonstanz eine Menge von 6·635 *g* Hefe, sie hatte also 21·5835 *g* H_2O = 76·48% H_2O besessen.

Lufttrockene Hefe, nach dem oben beschriebenen Verfahren hergestellt, enthält noch 13·78% H_2O. Durch mehrtägiges Stehen über Schwefelsäure bis zur Gewichtskonstanz verliert sie noch zirka 10% H_2O, so daß sie hernach unter sehr geringer Gewichtsabnahme bei 120° erhitzt werden kann.

[1] Ber. d. D. chem. Ges., Bd. 30, 1112.

Das Erhitzen wurde zwischen bei 150° sterilisiertem Filtrierpapier im regulierten Trockenschrank vorgenommen, in welchem die zerriebene Hefe in sehr dünner Schichte aufgebreitet lag. Aus dem Trockenschrank wurde sie in einer gewogenen sterilisierten Petrischale zur Wage gebracht und von da auf sterilisiertem Glanzpapier möglichst rasch in das bis dahin im Trockenschrank sterilisierte Körbchen gefüllt, das hierauf augenblicklich in den Kolben getan wurde, der im Thermostaten mit Wasserdampf bei 100° sterilisiert worden war. Dann wurden die Operationen des Auspumpens und Füllens mit Sauerstoff vorgenommen und schließlich das Ganze bei möglichst konstanter Temperatur sich selbst durch 48^h überlassen, nachdem aus dem Meßgefäß der Pipette eine derartige Menge einer 10prozentigen Traubenzuckerlösung in das Körbchen gebracht worden war, daß hiedurch das Frischgewicht der Hefe um $5^0/_0$ überschritten wurde. Da der Kolben mit Gas vollständig gefüllt war, mußte die Flüssigkeit hineingepreßt werden. Das geschah in der Weise, daß die Meßpipette mit der Zuckerlösung beschickt wurde, so daß sie bis oben gefüllt war. Dann wurde an den oberen Pipettenhahn der Vakuumschlauch der Druckpumpe angesetzt, der untere Hahn geöffnet und nun die gewünschte Menge hineingepreßt, jedoch stets nur wenige Kubikzentimeter, so daß der Druck der Flüssigkeitsschichte stets den Gasdruck überwog und kein Gas entweichen konnte. War dann noch nicht die entsprechende Menge Flüssigkeit hineingelangt, so wurde wieder bis zum Rande gefüllt und in der beschriebenen Weise weiter vorgegangen. Die Zuckerlösung war aus reiner Dextrose hergestellt und im Kolben steril bis zur Verwendung aufbewahrt; nach Füllung der Meßpipette blieb der obere Hahn derselben bis zum Anschalten des Druckschlauches geschlossen. Im Rohre der Pipette blieb dabei eine Flüssigkeitssäule stehen, die beim Hinzufügen der Flüssigkeitsmenge in Betracht gezogen wurde.

Rauminhalt des Kolbens:

I.

Gefunden 0·3064 *g* O_2 bei 25° und 744 *mm*.

II.

Gefunden 0·3021 *g* O_2 25° und 734 *mm*.
entsprechend cm^3 O_2 I. 280·75 II. 280·71

I. Hefe lufttrocken....8·16 *g* erhielten 15 cm^3 einer 10prozentigen Zuckerlösung, die also 1·5 *g* Dextrose enthielt. Nach 48^h wurde die Absorption vorgenommen, welche folgende Werte ergab:

CO_2-Abgabe.......0·9035 *g* O_2-Aufnahme......0·1996 *g*
Alkohol gebildet ...0·6665 *g* Zucker gefunden...0·0000 *g*,

daher

Zucker zerlegt ...1·5000 *g* = 100% des Gesamtzuckers.

War die Gärung[1] nach der Gleichung $C_6H_{12}O_6 = 2\,C_2H_5OH + 2\,CO_2$ vor sich gegangen, so war der gebildete Alkohol aus 1·3040 *g* Zucker, also 87·78% des zersetzten Zuckers entstanden. Die durch Gärung gebildete CO_2 wäre 0·6375 *g*. Daher der Rest der gefundenen CO_2 0·2660 *g* auf Rechnung der Atmung zu setzen. Diese Menge entspräche wieder nach der Gleichung $C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2 = 6\,CO_2 + 6\,H_2O$ einer veratmeten Zuckermenge von 0·1814 *g* = 12·22% des zerlegten Zuckers. Zur Oxydation dieser Zuckermenge wäre eine Quantität von 0·1935 *g* Sauerstoff nötig gewesen, während die gefundene Sauerstoffmenge, ebenso wie auch die gefundene Zuckerquantität gegen die Theorie etwas zu hoch ist, letzteres offenbar wegen Bildung von kleinen Mengen der bekannten Gärungsnebenprodukte, die nicht weiter bestimmt wurden. Diese Erscheinung läuft übrigens durch die ganze Versuchsreihe.

Kontrollversuch: Hefe lufttrocken 7·58 *g* erhielten 14 cm^3 einer 10prozentigen Zuckerlösung, die also 1·4 *g* Traubenzucker enthielt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden .... 0·0000 *g*, daher
Zucker zerlegt .... 1·4000 *g* = 100%
CO_2 gefunden .... 0·7847 *g*

[1] Giltay und Aberson, Pringsh. Jahrb. für w. Bot. XXVI. (1894) 543.

Durch Gärung		Durch Atmung
1·2772 *g* = 92·12%	Zucker zerlegt	0·1093 *g* = 7·88%
0·6244 *g*	CO_2 gebildet	0·1603 *g*
0·6528 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen.........0·1281 *g* (ber. 0·1166 *g*)

Der Alkohol wurde in der Weise bestimmt, daß der Inhalt des Körbchens, respektive des Kolbens, da bei der Gärung ein Teil der Substanz über den Rand des Körbchens in den Kolben gelangt war, mit einer bestimmten Menge Wassers in einen Fraktionskolben gespritzt und unter Verwendung einer Kahlbaumkolonne zweimal destilliert wurde.[1] Das spezifische Gewicht des Destillats ergab sodann nach den Hehner'schen Tabellen die enthaltene Alkoholmenge, der restliche Inhalt des Kolbens wurde abfiltriert, mit Wasser gut nachgewaschen und nach der Hager'schen Methode im Filtrat der übrige Zucker bestimmt. Als Reagens diente eine Flüssigkeit, die durch Zerreiben von 30 *g* HgO + 30 *g* CH_3COONa und Übergießen mit 25 *g* konzentrierter Essigsäure, Hinzufügen von 50 *g* NaCl und Verdünnen mit warmem Wasser auf 1 *l* hergestellt war. Mit 200 cm^3 dieses Reagens wurde das Filtrat über freiem Feuer zirka 4^h erwärmt, indem der betreffende Kolben mit einem Steigrohr versehen ward. Dabei scheidet sich $HgCl_2$ aus, welches auf getrocknetem, gewogenen Filter gesammelt, mit 5prozentiger HCl, dann mit Wasser, schließlich mit 80prozentigem Alkohol gewaschen, auf dem Wasserbade getrocknet und gewogen wird. Nach Hager entsprechen dann 1 *g* Dextrose 5·886 *g* $HgCl_2$.

II. Lufttrockene Hefe 8·59 *g* wurden langsam durch 4^h auf 50° erwärmt und 1^h bei dieser Temperatur belassen. Gewichtsabnahme 0·51 *g* = 5·94%. Diese 8·08 *g* Hefe wurden mit 19 cm^3 Dextroselösung versetzt, welche also 1·9 *g* Zucker enthielt. Absorption nach 48^h.

---

[1] Fresenius, Quant. Analyse II, 617.

Zucker gefunden .... 0·1638 *g*, daher
Zucker zerlegt .... 1·7362 *g* = 91·37 %
CO_2 gefunden .... 1·0242 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
1·5461 *g* = 89·42 %	Zucker zerlegt	0·1829 *g* = 10·58 %
0·7559 *g*	gebildete CO_2	0·2683 *g*
0·7902 *g*	gebildeter Alkohol	

O_2 aufgenommen .... 0·2092 *g* (ber. 0·1951 *g*).

Kontrollversuch: 8·04 *g* wurden ebenso behandelt wie zuvor. Gewichtsabnahme 0·4269 *g* = 5·31 %. Diese 7·61 *g* Hefe wurden mit 18 cm^3 Dextroselösung versetzt, welche also 1·8 *g* Zucker enthielt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden .... 0·1620 *g*, daher
Zucker zerlegt .... 1·6380 *g* = 91·00 %
CO_2 gefunden .... 0·9686 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
1·4527 *g* = 89·18 %	zerlegter Zucker	0·1762 *g* = 10·82 %
0·7102 *g*	gebildete CO_2	0·2584 *g*
0·7425 *g*	gebildeter Alkohol	

O_2 aufgenommen .... 0·1909 *g* (ber. 0·1879 *g*).

III. Lufttrockene Hefe: 9·57 *g* wurden wie früher, jedoch auf 70° erhitzt. Gewichtsabnahme: 0·715 *g* = 7·47 %. Diesen 8·86 *g* Hefe wurden 22 cm^3 10prozentiger Dextroselösung hinzugefügt, so daß ihr also 2·2 *g* Zucker geboten waren. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden .... 0·8218 *g*, daher
Zucker zerlegt .... 1·3782 *g* = 62·65 %
CO_2 gefunden .... 0·8120 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
1·2222 *g* = 89·31 %	Zucker zerlegt	0·1463 *g* = 10·69 %
0·5975 *g*	CO_2 gebildet	0·2145 *g*
0·6247 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen ....0·1627 *g* (ber. 0·1561 *g*).

Kontrollversuch: 9·08 *g* Hefe wurden wie früher behandelt. Gewichtsabnahme 0·565 *g* = 6·22 %. Diesen 8·52 *g* Hefe wurden 21 *cm*³ 10prozentiger Dextroselösung mit 2·1 *g* Zucker geboten. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden .... 0·8368 *g*, daher
Zucker zerlegt .... 1·2632 *g* = 60·15 %
CO_2 gefunden........... 0·7350 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
1·1049 *g* = 89·27 %	Zucker zerlegt	0·1328 *g* = 10·73 %
0·5402 *g*	CO_2 gebildet	0·1948 *g*
0·5647 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen .... 0·1499 *g* (ber. 0·1416 *g*).

IV. Luftrockene Hefe wurde wie früher: 10·11 *g* auf 90° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·01 *g* = 10 %. Diesen 9·10 *g* Hefe wurden 35 *cm*³ 10prozentiger Dextroselösung mit 3·5 *g* Zucker zugesetzt. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden........ 2·4915 *g*, daher
Zucke zerlegt .... 1·0085 *g* = 28·81 %.
CO_2 gefunden .... 0·5980 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·9011 *g* = 89·35 %	Zucker zerlegt	0·1074 *g* = 10·65 %
0·4405 *g*	CO_2 gebildet	0·1575 *g*
0·4606 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen......... 0·1304 *g* (ber. 0·1146 *g*).

Kontrollversuch: 9·96 *g* Hefe wurden wie früher behandelt. Gewichtsabnahme 0·98 *g* = 9·8 %. Diesen 8·98 *g* Hefe wurden 35 *cm*³ 10prozentiger Dextroselösung mit 3·5 *g* Zucker zugesetzt. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden........ 2·4715 *g*, daher
Zucker zerlegt.......... 1·0285 *g* = 29·39%.
CO_2 gefunden .... 0·5986 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·9131 *g* = 87·79%	zerlegter Zucker	0·1038 *g* = 10·21%
0·4464 *g*	gebildete CO_2	0·1522 *g*
0·4667 *g*	gebildeter Alkohol	

O_2 aufgenommen......... 0·1341 *g* (ber. 0·1107 *g*).

V. Lufttrockene Hefe: 10·00 *g* wurden auf 110° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·111 *g* = 11·11%. Diesen 8·89 *g* Hefe wurden 35 cm^3 10prozentiger Dextroselösung mit 3·5 *g* Zucker zugesetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden........ 2·3400 *g*, daher
Zucker zerlegt.......... 1·01965 *g* = 29·13%.
CO_2 gefunden .... 0·6039 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·9047 *g* = 89·14%	Zucker zerlegt	0·1102 *g* = 10·86%
0·4423 *g*	CO_2 gebildet	0·1616 *g*
0·4624 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen......... 0·1201 *g* (ber. 0·1176 *g*).

Kontrollversuch: 10·56 *g* Hefe wurden wie zuvor behandelt. Gewichtsabnahme 1·16 *g* = 11%. Diese 9·398 *g* Hefe wurden mit 36 cm^3 10prozentiger Dextroselösung mit 3·6 *g* Zucker versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden........ 2·5718 *g*, daher
Zucker zerlegt.......... 1·0282 *g* = 28·56%.
CO_2 gefunden .... 0·5912 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·9192 *g* = 90·48%	Zucker zerlegt	0·0967 *g* = 9·52%
0·4494 *g*	CO_2 gebildet	0·1418 *g*
0·4698 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen......... 0·1145 *g* (ber. 0·1032 *g*).

VI. Lufttrockene Hefe: 10·85 *g* wurden auf 130° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·4333 *g* = 13·21%. Diese 9·417 *g* Hefe

wurden mit 42 *cm*³ Dextroselösung mit 4·2 *g* Zucker versetzt. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden........ 3·8569 *g*, daher
Zucker zerlegt.......... 0·3431 *g* = 8·17 %.
CO_2 gefunden .... 0·3825 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·1229 *g* = 35·86 %	Zucker zerlegt	0·2198 *g* = 64·14 %
0·0601 *g*	CO_2 gebildet	0·3224 *g*
0·0628 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen......... 0·2396 *g* (ber. 0·2345 *g*).

K o n t r o l l v e r s u c h: 9·98 *g* lufttrockener Hefe wurden wie zuvor behandelt. Gewichtsabnahme 1·3473 *g* = 13·5 %. Diese 8·6327 *g* Hefe wurden mit 41 *cm*³ Dextroselösung mit 4·1 *g* Zucker versetzt. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden........ 3·7306 *g*, daher
Zucker zersetzt......... 0·3694 *g* = 9·01 %.
CO_2 gefunden .... 0·4063 *g*

Durch Gärung		Durch Atmung
0·1261 *g* = 34·92 %	Zucker zerlegt	0·2350 *g* = 65·08 %
0·0616 *g*	CO_2 gebildet	0·3447 *g*
0·0644 *g*	Alkohol gebildet	

O_2 aufgenommen......... 0·2511 *g* (ber. 0·2507 *g*).

VII. Hefe lufttrocken: 11·70 *g* wurden auf 150° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·6088 *g* = 13·75 %. Diese 10·0912 *g* Hefe wurden mit 44 *cm*³ einer 10prozentigen Dextroselösung mit 4·4 *g* Zucker versetzt. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden .... 4·3025 *g*, daher
Zucker zersetzt .... 0·0975 *g* = 2·22 %.
CO_2 gefunden........... 0·0999 *g*

Durch Atmung		Durch Gärung
nicht bestimmbar	Alkohol quantitativ nicht nachweisbar	nicht bestimmbar

O_2 aufgenommen .... 0·1916 *g*.

Bei diesem Versuch wurde der Alkohol qualitativ mit der äußerst empfindlichen Lieben'schen Jodoformprobe nachgewiesen. Fällung nach etwa einer halben Stunde. Ein quantitativer Nachweis ließ sich wegen der geringen Menge gebildeten Alkohols nicht mehr erbringen, daher ist wohl fast die ganze Menge der gefundenen CO_2, welche allerdings im Vergleich zu der zerlegten Zuckerquantität zu gering erscheint, auf Rechnung der nicht physiologischen Oxydation zu setzen.

Kontrollversuch: 10·53 *g* lufttrockener Hefe wie zuvor behandelt. Gewichtsabnahme 1·451 *g* = 13·78%. Diese 9·079 *g* Hefe wurden mit 40 cm^3 Dextroselösung mit 4·00 *g* Zucker beschickt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden ..... 3·9000 *g*, daher
Zucker zersetzt ...... 0·1000 *g* = 2·5%
CO_2 gefunden .... 0·0992 *g*
Sauerstoff........... 0·1341 *g*
Alkohol .... Jodoformkrystalle nach 2^h.

VIII. Hefe lufttrocken: 10·36 *g* auf 170° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·4276 *g* = 13·78%. Diese 8·9324 *g* Hefe wurden mit 40 cm^3 Dextroselösung mit 4·00 *g* Zucker beschickt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden ... 3·9079 *g*, daher
Zucker zersetzt .... 0·0921 *g* = 2·30%
CO_2 gefunden...... 0·0442 *g*
Sauerstoff .... 0·1419 *g*
Alkohol .... Jodoformkrystalle nach einigen Stunden.

Kontrollversuch: 10·95 *g* lufttrockene Hefe wie zuvor behandelt. Gewichtsabnahme 1·5089 *g* = 13·78%. Diese 9·4411 *g* Hefe mit 40 cm^3 Dextroselösung versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden .... 3·8984 *g*, daher
Zucker zersetzt ..... 0·1016 *g* = 2·54%
CO_2 gefunden .... 0·0695 *g*
Sauerstoff .... 0·1500 *g*
Alkohol .... spärliche Jodoformkrystalle.

IX. Hefe lufttrocken: 11·32*g* Hefe auf 190° gebracht. Gewichtsabnahme 1·6006*g* = 14·14%. Diese 9·7194*g* Hefe wurden mit 44 cm^3 10 prozentiger Dextroselösung versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden . . . . . . 4·3792*g*, daher
Zucker zersetzt . . . . 0·0208*g* = 0·48%
CO_2 gefunden . . . . 0·0093*g*
Sauerstoff . . . . 0·0406*g*
Alkohol . . . . Jodoformkrystalle nach 24^h.

Kontrollversuch: 12·02*g* lufttrockene Hefe auf 195° gebracht. Gewichtsabnahme 1·7044*g* = 14·18%. Diese 10·3156*g* mit 44 cm^3 Dextroselösung versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden . . . . 4·3808*g*, daher
Zucker zerlegt . . . . 0·0192*g* = 0·44%
CO_2 gefunden . . . . 0·0091*g*
Sauerstoff . . . . 0·0460*g*
Alkohol . . . . einzelne Jodoformkrystalle nach 24^h.

X. Hefe lufttrocken: 12·14*g* auf 200° erhitzt. Gewichtsverlust 1·8723*g* = 15·41%. Diese 10·2677*g* Hefe mit 45 cm^3 Dextroselösung versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden . . . . . 4·4852*g*, daher
Zucker zerlegt . . . . 0·0148*g* = 0·34%
CO_2 gefunden . . . . 0·0066*g*
Sauerstoff . . . . 0·0412*g*
Alkohol . . . . nicht mehr nachzuweisen.

Kontrollversuch: 11·74*g* wie zuvor behandelt. Gewichtsverlust 1·7469*g* = 14·88%. Diese 9·9931*g* mit 44 cm^3 Dextroselösung versetzt. Absorption nach 48^h.

Zucker gefunden . . . . . . 4·3828*g*, daher
Zucker zerlegt . . . . 0·0172*g* = 0·39%
CO_2 gefunden . . . . 0·0074*g*
Sauerstoff . . . . 0·0429*g*
Alkohol . . . . nicht mehr nachzuweisen.

Ein Versuch, mit Hefe angestellt, welche auf 205° gebracht worden war, ergab wohl noch eine geringe CO_2-Ausscheidung, doch lagen die Zahlen schon innerhalb der Fehlergrenzen, so daß sie nicht unzweifelhaft als Versuchsergebnisse gelten konnten. Dasselbe gilt von der Menge des aufgenommenen Sauerstoffs, wiewohl hier die betreffende Quantität noch mehrere Milligramme betrug. Denn als der Versuch mit Hefe nach einer Erhitzung auf 210° wiederholt wurde, ergab sich keine Spur einer CO_2-Ausscheidung mehr, wohl aber eine geringe O_2-Aufnahme.

Das Erlöschen einer CO_2-Abgabe liegt jedenfalls zwischen 200°—205°, während die Zymase schon bei 130° größtenteils zerstört erscheint. Im Nachfolgenden sind die gefundenen Werte in einer Tabelle zusammengestellt, wobei jede Ziffer das Mittel aus zwei parallel laufenden Versuchen darstellt. Da stets dieselben Konzentrationen der Zuckerlösung und annähernd dieselben Hefemengen angewendet wurden, sind die erhaltenen Prozentzahlen direkt vergleichbar. (Siehe nebenstehende Tabelle.)

Aus diesen Zahlen ergibt sich der Verlauf der Gährung und Atmung, respektive Verbrennung der verwendeten Hefe nach Erhitzung derselben bis 205° in regelmäßiger Progression. Die Gärung geht — das ist aus den Ziffern des vergorenen Zuckers ersichtlich — bis 110° fast gleichmäßig vor sich, wobei aber die Prozentzahl des verarbeiteten Zuckers bis auf 28·84 sinkt. Die Atmung wird bei 50° eine gesteigerte und sinkt von da ab bis 110°.

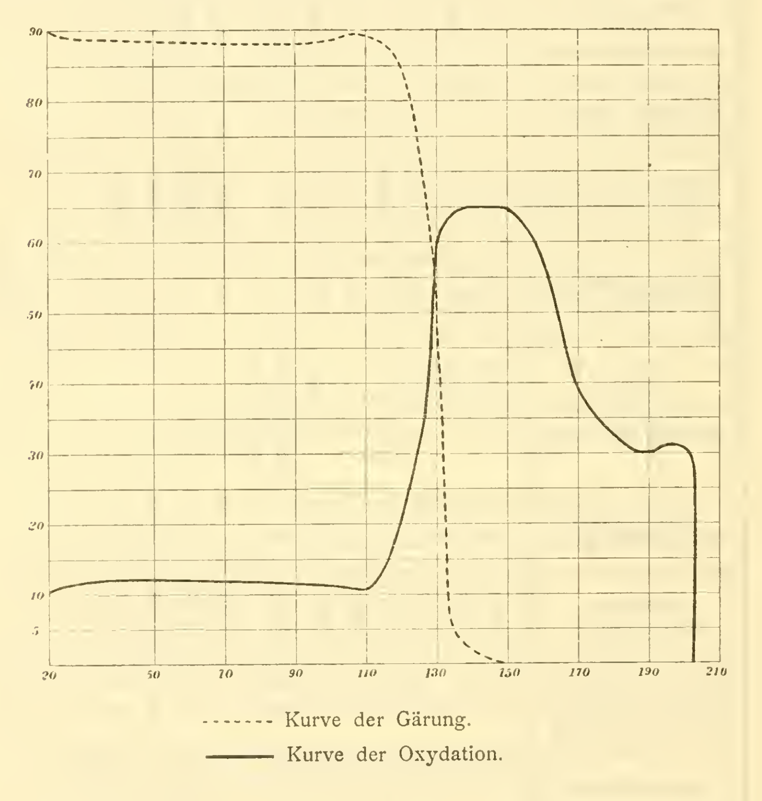
Bei 130° ändern sich die Verhältnisse plötzlich. Die Ziffer des verarbeiteten Zuckers sinkt von 28·84 % auf 8·59%. Doch von dem zerlegten Zucker fallen nur 35·35 % (gegen 89·81 % von früher) der Wirkung der Zymase zur Last, während die restlichen 64·66 % auf Rechnung der Verbrennung kommen. Offenbar tritt die Oxydation in den Vordergrund, wenn die Wirkung der Zymase bedeutend geschwächt ist. Von da ab ist die Gärungsarbeit ein Minimum, so daß der gebildete Alkohol nur qualitativ nachgewiesen werden kann und die entwickelte CO_2 der Oxydation zugeschrieben werden muß. Von einem Leben des Organismus nach einer derartig hohen Erhitzung kann wohl keine Rede mehr sein; die exhalierte CO_2 beweist

Temperatur, lufttrocken zirka	Hefe in Gramm	Zucker geboten in Gramm der 10prozentigen Lösung	Zucker zerlegt in Gramm	In Prozenten des Gesamtzuckers	Der in der Gärung zerlegte Zucker in Gramm	In Prozenten des zerlegten Zuckers	Der in der Verbrennung zerlegte Zucker in Gramm	In Prozenten des zerlegten Zuckers	Gesamtmenge der ausgeschiedenen CO_2 in Gramm	In der Gärung ausgeschiedene CO_2 in Gramm	In der Verbrennung ausgeschiedene CO_2 in Gramm	Gebildeter Alkohol in Gramm	Aufgenommener Sauerstoff in Gramm
20°	7·87	1·45	1·4500	100·00	1·2906	89·95	0·1454	10·05	0·8441	0·6309	0·2132	0·6579	0·1639
50°	7·85	1·85	1·6871	91·19	1·4994	89·30	0·1796	10·70	0·9964	0·7331	0·2634	0·7664	0·2000
70°	8·69	2·15	1·3207	61·40	1·1636	89·29	0·1395	10·70	0·7735	0·5689	0·2046	0·5947	0·1563
90°	9·04	3·50	1·0185	29·10	0·9071	89·57	0·1056	10·43	0·5983	0·4435	0·1548	0·4636	0·1323
110°	9·14	3·55	1·0239	28·84	0·9119	89·81	0·1035	10·19	0·5975	0·4458	0·1517	0·4661	0·1173
130°	9·02	4·15	0·3562	8·59	0·1245	35·35	0·2274	64·66	0·3944	0·0608	0·3336	0·0636	0·2453
150°	9·59	4·20	0·0988	2·36	quantit. nicht bestimmbar	—	0·0679	67·40	0·0995	Spuren	0·0995	qualitat. nachgew.	0·1628
170°	9·19	4·00	0·0968	2·42	dtto.	—	0·0388	40·08	0·0568	dtto.	0·0568	dtto.	0·1459
190°	10·02	4·40	0·0208	0·48	dtto.	—	0·0063	31·50	0·0093	dtto.	0·0093	dtto.	0·0406
195°	10·32	4·40	0·0192	0·44	dtto.	—	0·0062	32·29	0·0091	dtto.	0·0091	dtto.	0·0460
200°	10·13	4·45	0·0160	0·36	—	—	0·0050	31·25	0·0070	keine	0·0070	—	0·0421
205°	9·78	4·45	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0·0373

nach 48h

aber, daß noch immer Oxydationsprozesse vor sich gehen; diese sind es, welche Wiesner mit dem Worte »tote Oxydation« bezeichnet.

Die tote Oxydation, welche also für die verwendete Hefe bei 130° beginnt, zeigt jedoch bei 190°, bis zu welchem Punkte sie stetig abnimmt, eine jähe Verminderung, um endlich zwischen 200° bis 205° gänzlich zum Stillstande zu gelangen. Die geschilderten Erscheinungen kommen an den untenstehenden Kurvenskizzen für Gärung und Oxydation zur Darstellung. Die Wirkung der Zymase ist von 195° ab auch qualitativ nicht mehr nachzuweisen.



------- Kurve der Gärung.

——— Kurve der Oxydation.

Den Verlauf der Prozesse, welche sich in einer progressiv erhitzten Hefe abspielen, wenn man sie hernach in eine Zuckerlösung bringt, vergegenwärtigt man sich am besten, wenn man in der obenstehenden Tabelle die Ziffern der abgegebenen

Gesamtkohlensäure betrachtet. Die Zahlen nehmen stetig bis 130° ab, wo die Wirkung der Zymase fast erloschen ist. Aber auch die Ziffer der Verbrennungskohlensäure sinkt hier plötzlich, da von hier ab nur mehr die tote Oxydation wirksam ist und erleidet bei 190° ein nochmaliges rapides Fallen. Das führt zu der Vermutung, daß auch in der toten Oxydation noch zwei Prozesse enthalten sind. Wiesner[1] hat darauf aufmerksam gemacht, daß die Oxydation der zur Veratmung in der lebenden Pflanze gelangenden Körper kein einfacher Vorgang ist, sondern daß noch andere Prozesse in den Atmungsvorgang verflochten sind. Entweder es werden durch den Chemismus des lebenden Protoplasmas fortwährend Substanzen erzeugt, welche den Sauerstoff begierig an sich ziehen[2] oder es werden die zu veratmenden Substanzen durch Fermente in einen Zustand versetzt, in welchem sie leichter oxydierbar sind. Solche Oxydationsfermente sind bekanntlich die Oxydasen,[3] welche in zahlreichen Pflanzensäften aufgefunden wurden, welche sie braun färben, so bei *Vicia faba* und Kartoffel. Auch in der Hefe kommt eine Oxydase vor, deren Wirkung schon Buchner[4] in der Verfärbung des Hefepreßsaftes erkannte. L. Telesnin[5] stellte mit Zymin auf verschiedenen Substraten Versuche an und konstatierte auch bei diesem, also der toten Dauerhefe, eine konstante Sauerstoffaufnahme, welche der Wirksamkeit der Bertrand'schen Oxydase zugeschrieben werden muß. Ähnliche Verhältnisse beobachtete J. Warschawsky,[6] der mit

---

[1] Wiesner, Anatomie und Physiologie der Pflanzen, Wien 1898, p. 247.

[2] Loew u. Bokorny, Ber. d. D. chem. Ges. *14*, 2508, 2589, *15*, 383, 695, 2753. Reinke, ebendas. *14*, 2150, *15*, 107. Baumann, *16*, 248.

[3] Bertrand, Compte rend. 1895, Bd. 120, p. 266; 1896, Bd. 122, p. 1215; 1897, Bd. 124, p 1032 (Lakkase); Grüß, Landw. Jahrb., 1896, Bd. 25, p. 388 (Kartoffel). Vines: Annales of botany *15*, 181; Raciborski, Ber. d. bot. Ges. *16*, 52 u. 119, Flora *85*, 362; Molisch, Studie über Milchsaft etc., p. 63; Hunger, Ber. d. bot. Ges. *19*, 374 (1901); Behrens, Centralbl., Bakter. II, *7*, 1 (1901).

[4] Buchner-Hahn, Die Zymasegärung, 1903; J. Grüß, Wochenschr. f. Brauerei, *18*, Nr. 24—26 (1901); J. Grüß, Wochenschr. f. Brauerei, I, II, III p. 310, 318, 335. (Über Oxydationserscheinungen in der Hefe.)

[5] Zentralbl. Bakt., XII, 212 ff. (1904).

[6] Ebendas., XII, 400 (1904).

Saccharom. Membranaefaciens arbeitete, welcher bekanntlich keine Zymase enthält und keine Gärkraft besitzt. Die Oxydase nimmt entweder den freien Sauerstoff der Luft auf und überträgt ihn auf oxydable Substanzen (direkte Oxydase)[1] oder sie zerlegt Peroxyde (H_2O_2), deren Sauerstoff dann übertragen wird (indirekte Oxydase). Nach der Annahme von O. Loew[2] soll die Zerlegung von H_2O_2 einem spezifischen, sehr verbreiteten Enzym zukommen, der sogenannten Katalase. Über Hefenkatalase berichtet W. Issajew.[3] Das Vorkommen einer derartigen Peroxydase[4] im tierischen und pflanzlichen Organismus, welche Peroxyd und bei der Luftoxydation von organischer Materie entstandene Peroxyde in ähnlicher Weise, wie dies Ferrosalze tun, aktiviert, wurde schon von Schönbein[5] festgestellt. Nach Bach und Chodat[6] beträgt die für die Oxydase tötliche Temperatur 70°, bei welcher die Peroxydase noch weiterbesteht. Durch Kochen der wässerigen Lösung wird allerdings auch die letztere zerstört, doch beobachtete Woods,[7] daß dann dieselbe nach einigen Stunden regeneriert werde und schließt daraus, daß es für Oxydase und Peroxydase Zymogene gibt, welche gegen Hitze weit beständiger sind als die aktiven Fermente. Daß Enzyme in trockenem Zustande Hitzegrade von viel mehr als 100° vertragen, bestätigen auch Hüfner[8] und Hueppe.[9] Auch nach meinen Erfahrungen wird Kartoffelpreßsaft, auch wenn er auf 160—170° erhitzt wurde, nach einiger Zeit noch bräunlich. Die Oxydasen bilden also zwecks

---

1 Oppenheimer, Die Fermente, p. 49.

2 Catalase, A new Enzyme of general occurence. U. S. Dep. of agriculture, Rep. Nr. 68 (1901); ders., Ber. d. Deutschen chem. Ges. *35*, p. 2487 (1902); ders., Die chemische Energie der lebenden Zellen, München 1899.

3 Zeitschr. f. physiol. Chemie, Bd. 42, 102 (1904).

4 Lignossier, Compte rend. Soc. biol. *5*, 373.

5 Verh. naturf. Ges. Basel I, 467, II, 9; Abh. Münchner Akad. *8*, 38 (1856), 106.

6 A. Bach u. R. Chodat, Unters. über d. Rolle d. Peroxyde in d. Chemie d. lebenden Zelle; Ber. d. D. chem. Ges. *35*, 2466, 3943 (1902).

7 U. S. Dep. of agriculture Rep. Nr. 8, 17; Observations on the mosaic disease of tobacco U. S. D. of agric., Bullet. Nr. 18.

8 Journ. prakt. Chemie, Bd. XVII.

9 Chem. Zentralbl. 1881, p. 745.

Verbrennung widerstandsfähiger Produkte, unter Aufnahme von molekularem Sauerstoff Peroxyde, während die Peroxydasen dieselben aktivieren. Die große Widerstandskraft der oxydierenden Fermente gegen Einwirkung hoher Temperaturen machen es wahrscheinlich, daß es Oxydasen sind, welche in den geschilderten Versuchen die Oxydation des gebotenen Zuckers und die damit verbundene Abgabe von CO_2 bewirkten und die mit Erhöhung der Temperatur in ihrer Wirksamkeit allmählich geschwächt wurden. Nun zeigt aber, wie bereits dargelegt, auch der der toten Oxydation angehörende Teil der Verbrennungskurve von 170° an einen rapiden Fall und es macht den Eindruck, als ob an dieser Stelle das Oxydationsferment einem anderen oxydierenden Faktor gewichen wäre. Eine Möglichkeit, die mir manches Wahrscheinliche für sich zu haben scheint, ist, daß hier die Wirkung anderer katalytischer Substanzen eingesetzt habe, oder vielmehr nach dem Untergange des oxydierenden Ferments noch übrig geblieben sei. Tatsächlich sind nicht wenige Fälle beschrieben worden,[1] in welchen die charakteristischen Oxydasereaktionen bei völliger Abwesenheit von Oxydasen erzeugt wurden.[2] Namentlich aber sind es gewisse Metalle oder Metallsalze, welche eine wichtige Rolle bei der Funktion[3] der Oxydasen und Peroxydasen spielen, so nach Sacharoff,[4] Lépinois,[5] Sarthou,[6] Loew, Aso und Sawa,[7] Aso und Pozzi-Escot[8] das Eisen, nach Villiers,[9] Vitali[10] besonders auch das Mangan, welche in fein verteiltem Zustand als aktivierende Elemente der Oxydasen und Peroxydasen

---

[1] T. Porodko, Zur Kenntnis der pflanzlichen Oxydasen. Beiheft z. bot. Zentralbl. XVI, H. 1, p. 1.

[2] Pohl, Arch. f. exp. Pathol. XXXVIII, 65—70; Bertrand, Compte rend. T. 124, p. 1355; Bourquelot, Compte rend. de la société de Biol. t. *49*, 97, 402.

[3] Lippmann, Chemie d. Zuckerarten II, 1805.

[4] Chem. Ztg. 22, Ref. 321.

[5] Journ. de pharmacie VI, *9*, 49.

[6] Ebendas., VI. *11*, 583.

[7] Compte rend. 1902 b., 1057.

[8] Ebendas., 1903, 343.

[9] Ebendas., *124*, 1349.

[10] Chem. Ztg. 25, Ref. 212.

gelten können und von Trillat[1] sogar direkt als »metallische Enzyme« angesprochen werden. In der Peroxydaseasche,[2] die Bach und Chodat aus der Meerrettigwurzel isolierten, war 0·6% Mn enthalten. Die oben ausgesprochene Vermutung wird auch durch die Resultate der übrigen Versuchsreihen gestützt, welche ich zunächst anführen möchte, bevor ich auf die Frage eingehe, ob solche rein oxydative Vorgänge schon im Prozeß der Atmung enthalten seien.

II. Hefe mit destilliertem Wasser.

I. Hefe lufttrocken: 9·31 *g* wurden mit 30 cm^3 destilliertem Wasser versetzt. Absorption nach 48^h. Es trat etwas Selbstgärung ein, denn durch die Lieben'sche Probe ließ sich nach dem Prozeß Alkohol nachweisen, doch war seine Menge für die quantitative Feststellung zu gering, so daß wohl der größte Teil der gebildeten CO_2 auf Rechnung der physiologischen Verbrennung zu setzen ist.

CO_2 gefunden....... 0·1685 *g*, Alkohol qualitativ,
O_2 aufgenommen.... 0·1868 *g*.

Kontrollversuch: 10·84 *g* Hefe mit 34 cm^3 Wasser. Absorption nach 48^h.

CO_2 gefunden............. 0·1913 *g*
O_2 aufgenommen........... 0·2095 *g*
Alkohol qualitativ (ziemlich reichliche Fällung).

II. Hefe lufttrocken: 10·22 *g* auf 50° erwärmt. Gewichtsabnahme 0·646 *g* = 6·32%. Wasser 35 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 gebildet.............. 0·1592 *g*
O_2 aufgenommen.......... 0·1635 *g*
Alkohol qualitativ.

---

[1] Compte rend. *137*, 922; *138*, 94.

[2] Bach u. Chodat l. c.

Kontrollversuch: 9·97 *g* Hefe wie zuvor behandelt. Gewichtsverlust 0·616 *g* = 6·18 %. Wasser 34 cm^3. Absorption 48^h.

CO_2 gebildet .... 0·1559 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·1601 *g*
Alkohol qualitativ.

III. Hefe lufttrocken: 10·76 *g* auf 70° erwärmt. Gewichtsabnahme 0·862 *g* = 8·01 %. Wasser 36 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·1071 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·1598 *g*
Alkohol qualitativ.

Kontrollversuch: 10·29 *g* Hefe wie zuvor behandelt. Gewichtsverlust 0·747 *g* = 7·26 %. Wasser 36 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 gebildet .... 0·1080 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·1554 *g*
Alkohol qualitativ.

IV. Hefe lufttrocken: 11·06 *g* auf 90° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·23 *g* = 11·14 %. Wasser 37 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0918 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·1015 *g*
Alkohol qualitativ.

Kontrollversuch: Hefe 10·87 *g* wie zuvor behandelt. Gewichtsabnahme 1·141 *g* = 10·5 %. Wasser 36 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0902 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0999 *g*

V. Hefe lufttrocken: 11·53 *g* auf 110° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·346 *g* = 11·67 %. Wasser 39 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0901 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1102 *g*
Alkohol nicht nachzuweisen.

Kontrollversuch: Hefe 10·25 *g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·311 *g* = 12·8%. Wasser 35 cm^3. Absorption 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0893 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1065 *g*
Alkohol nicht nachzuweisen.

VI. Hefe lufttrocken: 10·79 *g* auf 130° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·46 *g* = 13·56%. Wasser 36 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·1101 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1349 *g*
Alkohol nicht nachzuweisen.

Kontrollversuch: 11·34 *g* wie zuvor behandelt. Gewichtsverlust 1·622 *g* = 13·33%. Wasser 39 cm^3. Absorption 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·1043 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1299 *g*
Kein Alkohol.

VII. Hefe lufttrocken. 10·35 *g* auf 150° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·46 *g* = 14·12%. Wasser 36 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0431 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0722 *g*
Kein Alkohol.

Kontrollversuch: 11·67 *g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·365 *g* = 13·96%. Wasser 39 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0666 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0794 *g*
Kein Alkohol.

VIII. Hefe lufttrocken: 12·01 *g* auf 170° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·727 *g* = 14·38%. Wasser: 41 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0023 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0028 *g*
Kein Alkohol.

Kontrollversuch: 11·32 *g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·72 *g* = 15·16%. Wasser: 39 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0049 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0046 *g*
Kein Alkohol.

Bei weiterer Erhitzung fand keine nachweisbare CO_2-Ausscheidung mehr statt, wiewohl eine weitere Aufnahme von O_2 bis gegen 200° zu konstatieren war. Überdies kann die absolute Richtigkeit des letzten Versuches nicht mehr mit aller Gewißheit behauptet werden, zumal in der Kontrollprobe die Menge des aufgenommenen Sauerstoffs im Verhältnis zur exhalierten CO_2 von den Resultaten der übrigen Versuche abweicht.

Daß die Abgabe der CO_2 in dieser Versuchsreihe früher zum Stillstand kam als in der vorherbeschriebenen, glaube ich damit erklären zu können, daß kein veratembares Material mehr vorhanden war, sondern sich bei dieser Temperatur, so z. B. das Glykogen[1] der Hefe bereits in einer Weise verändert hatte, die eine Weiteroxydation seitens der Oxydase nicht mehr gestattete. Es wurde daher eine Versuchsreihe angestellt, in welcher der Hefe ein nicht vergärbares Substrat geboten wurde, nämlich Asparagin und Chinasäure.[2]

---

[1] E. Laurent Annal. d. L. Soc. Belge de Microscopie, 1890.

[2] Jost, Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 251.

III. Hefe in einer Asparagin-Chinasäurenährlösung.

I. Hefe lufttrocken: 10·04 *g* wurden mit 30 *cm*³ einer Lösung versetzt, die 5% Chinasäure und 5% Asparagin (beides Kahlbaumpräparate) enthielt. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt ....0·1811 *g*
O_2 aufgenommen............0·1829 *g*

Kontrollversuch: 9·79 *g* mit 30 *cm*³ Nährlösung versetzt. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt ....0·1818 *g*
O_2 aufgenommen............0·1902 *g*

II. Hefe lufttrocken: 10·11 g auf 50° erwärmt. Gewichtsabnahme 4·21% = 0·4256 *g*. Nährlösung 35 *cm*³. Absorption 48ʰ.

CO_2 entwickelt..............0·1199 *g*
O_2 aufgenommen............0·1234 *g*

Kontrollversuch: 10·17 *g* wie früher. Gewichtsabnahme 0·541 *g* = 5·32%. Nährlösung 35 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt ....0·1576 *g*
O_2 aufgenommen............0·1668 *g*

III. Hefe lufttrocken: 10·08 *g* auf 70° erhitzt. Gewichtsverlust 0·975 *g* = 9·67%. Nährlösung 36 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt ....0·0999 *g*
O_2 aufgenommen............0·1004 *g*

Kontrollversuch: 10·37 *g* wie zuvor. Gewichtsabnahme 0·926 *g* = 8·93%. Nährlösung 36 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 abgegeben ....0·0986 *g*
O_2 aufgenommen............0·1000 *g*

IV. Hefe lufttrocken: 10·89*g* auf 90° erhitzt. Gewichtsverlust 1·1*g* = 10·18%. Nährlösung 37 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0916*g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0992*g*

Kontrollversuch: 11·56*g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·16*g* = 10%. Nährlösung 37 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0909*g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1020*g*

V. Hefe lufttrocken: 10·56*g* auf 110° erhitzt. Gewichtsverlust 1·28*g* = 12·14%. Nährlösung 39 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0903*g*
O_2 absorbiert . . . . 0·0995*g*

Kontrollversuch: 11·17*g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·45*g* = 13·01%. Nährlösung 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0903*g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1009*g*

VI. Hefe lufttrocken: 10·83*g* auf 130° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·478*g* = 13·65%. Nährlösung 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0988*g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1112g

Kontrollversuch: 10·99*g* ebenso behandelt. Gewichtsabnahme 1·51*g* = 13·73%. Nährlösung 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0959*g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1144*g*

VII. Hefe lufttrocken: 10·35 *g* auf 150° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·43 *g* = 13·78%. Nährlösung 39 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0455 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0566 *g*

Kontrollversuch: 11·13 *g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·6 *g* = 14·5%. Nährlösung 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0467 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0491 *g*

VIII. Hefe lufttrocken: 11·19 *g* auf 170° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·67 *g* = 14·96%. Nährlösung 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0035 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0049 *g*

Kontrollversuch: 12·04 *g* ebenso behandelt. Gewichtsabnahme 1·8 *g* = 15%. Nährlösung 41 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0061 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0066 *g*

IX. Hefe lufttrocken: 11·88 *g* auf 190° erhitzt. Gewichtsverlust: 1·87 *g* = 15·75%. Nährlösung: 40 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0021 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0034 *g*

Kontrollversuch: 12·18 *g* ebenso behandelt. Gewichtsverlust 1·9 *g* = 15·68%. Nährlösung 41 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben .... 0·0025 *g*
O_2 aufgenommen .... 0·0038 *g*

X. Hefe lufttrocken: 12·11 *g* auf 195° erhitzt. Gewichtsabnahme 1·9 *g* = 15·83%. Nährlösung: 41 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0023 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0036 *g*

Auch nachdem die Erhitzung bis 200° und 205° getrieben war, ergab sich noch eine minime CO_2-Ausscheidung, doch waren die erhaltenen Zahlen nicht mit hinlänglicher Sicherheit festzustellen. Über 205° hinaus war gar keine CO_2-Abgabe mehr zu beobachten, wiewohl analog den früheren Versuchsreihen Sauerstoff auch noch weiterhin absorbiert wurde. Auch in den parallel laufenden Versuchsanstellungen ist die Differenz zwischen den beobachteten Gasmengen öfters eine verhältnismäßig beträchtliche. Das hängt offenbar damit zusammen, daß doch nicht überall genau dieselben Hefemengen angewendet werden konnten, und mit den individuellen Verschiedenheiten der einzelnen Hefezellen überhaupt, die als solche und deren Zymase bei der Erhitzung mehr oder weniger gelitten hatten. Der Zweck der Versuche, annähernd das Verhalten der verwendeten Hefe bei progressiver Erhitzung zu zeigen, ist immerhin durch die gefundenen Zahlen erreicht. Die nachfolgenden Tabellen geben wieder die Durchschnittszahlen je zweier paralleler Versuche.

Schon Schönbein[1] hatte gefunden, daß die Hefe eine Ausnahme von der Regel mache, nach welcher Substanzen, die wie das Platin H_2O_2 zerlegen, auch die H_2O_2 haltige Guajactinktur bläuen. Grüß[2] beobachtete dann, daß die Hefenoxydase Sauerstoff auf Di- und Tetraamine übertrage und verwendete daher zur Untersuchung der Hefenoxydase ein Reagenspapier, welches mit einer Lösung von Tetramethyl-p-Phenylendiaminchlorid[3] getränkt war in Verbindung mit einem ebensolchen,

[1] Katalyt. Wirksamkeit organ. Materien etc. Münchner Akad. 2, 100 (1863).

[2] Über Oxydase-Erscheinungen der Hefe, Wochenschr. f. Brauerei, I, II, III, p. 310, 318, 335.

[3] Wurster, Ber. d. Deutschen chem. Ges. XIX, 3195 (1886).

Nach 48h.	Hefe mit Wasser.							
	20°	50°	70°	90°	110°	130°	150°	170°
	Gramm in 48h							
Ausgeschiedene CO_2	0·1799	0·1576	0·1076	0·0910	0·0897	0·1072	0·0548	0·0036
Aufgenommener O_2	0·1982	0·1618	0·1576	0·1007	0·1083	0·1324	0·0758	0·0037

Nach 48h.	Hefe mit 5% Chinasäure + 5% Asparagin.									
	20°	50°	70°	90°	110°	130°	150°	170°	190°	195°
	Gramm in 48h									
Ausgeschiedene CO_2	0·1814	0·1388	0·0993	0·0913	0·0903	0·0974	0·0461	0·0048	0·0023	0·0023
Aufgenommener O_2	0·1865	0·1451	0·1002	0·1006	0·1002	0·1128	0·0528	0·0058	0·0036	0·0036

das aber noch mit einer bei 15° gesättigten Sodalösung behandelt war. Auf solchen Papieren ruft dann Hefe sofort oder nach einiger Zeit Erscheinungen hervor, die zur Beurteilung der Oxydase dienen können. Um nun die tote Oxydation unabhängig von der Anwendung hoher Temperaturen studieren zu können, ging ich folgendermaßen vor.

IV. Versuche mit Dauerhefe.

I. Schroder'sches Zymin, zirka 10 *g*, wurde mit der doppelten Menge feinstgepulverten Quarzsandes, welcher vorher mit Königswasser gewaschen worden war, vermengt und zunächst trocken, dann unter Zugabe von 25 cm^3 Wasser ganz nach Buchner's Angabe [1] mehrere Stunden in einer großen Reibschale innig verrieben, sodann in Preßtücher eingeschlagen und hydraulisch abgepreßt. Diese Operation diente zur Entfernung der Zymase, die als Endoenzym [2] ohne Zerstörung der Zellwände und des Plasmaschlauches nicht aus den Zellen herauszubringen ist. Die mikroskopische Untersuchung ergab denn auch, daß die meisten Zellhäute geplatzt oder zerrissen waren. Der Preßkuchen wurde mit wässerigem Glyzerin wiederholt extrahiert [3], wodurch die Zymase entfernt wurde. Der Brei ward hierauf mit Alkohol, dann mit Äther gewaschen und schließlich bei 36° getrocknet. Der so behandelte Preßkuchen zeigte weder mit Tetrapapier noch mit Tetrasodapapier die geringste Reaktion, ein Beweis, daß durch das beschriebene Verfahren auch die Oxydase entfernt worden war. Die Hälfte des Gemenges mit zirka 5 *g* Zymin wurde mit 15 cm^3 der vorherbeschriebenen Nährlösung versetzt. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0019 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0042 *g*

---

[1] Buchner-Hahn, Die Zymasegärung, p. 248.
[2] Hahn, Ber. d. Deutschen chem. Ges. XXVIII, p. 3038 (1895).
[3] Gunning, Just's bot. Jahresber. 1873, p. 136.

Die andere Hälfte, zum Kontrollversuche in derselben Weise verwendet, ergab

CO_2 .... 0·0022 *g*
O_2 .... 0·0046 *g*

II. 5 *g* Schroder'sches Zymin wurde mit 15 cm^3 der Nährlösung versetzt. Das Zymin gab auf Tetrapapier demselben eine leichtviolette Färbung, während es selbst sowie eine Rundzone um dasselbe farblos blieb. Farblos blieb auch das Tetrasodapapier. Absorption nach 48^h.

CO_2-Abgabe .... 0·0415 *g*
O_2-Aufnahme .... 0·0409 *g*

Die Oxydase wirkt nach Grüß [1] auf Asparagin ein. Mit Wasser statt der Nährlösung resultierten gemäß den Angaben von Gromow und Grigoriew [2] fast genau gleiche Zahlen, doch zeigt schon die beträchtliche Sauerstoffaufnahme, sowie das Resultat der späteren Versuche, in welchen die Wirksamkeit der Zymase gänzlich ausgeschaltet worden war, daß diese Zahlen nicht nur auf Rechnung der Selbstgärung, sondern auch der Oxydasenwirkung zuzuschreiben sind.

III. Um die umständliche Prozedur des Zerreibens, welche zudem nicht die Sicherheit der Vollständigkeit bot, zu ersparen, wendete ich zur Zerstörung der Zymase die Behandlung mit Methylalkohol an. Buchner [3] sagt, daß durch Anwendung desselben die Zymase völlig vernichtet werde.

5 *g* Zymin wurden dreimal mit frischem Methylalkohol digeriert, auf der Nutsche abgesogen, mit Alkohol-Äther gewaschen und bei 35° getrocknet. Die Dauerhefe entwickelte nach dieser Behandlung mit Rohrzuckerlösung keine Spur Alkohol. Die Oxydasereaktion trat jedoch nach wie vor ein, wenn auch etwas schwächer und nach längerer Dauer. Es

---

[1] L. c.

[2] Die Arbeit der Zymase und der Endotryptase in den abgetöteten Hefezellen etc., Zeitschr. f. physiol. Chemie, XLII, Heft 4, p. 313.

[3] l. c. p. 232.

wurden wieder 15 *cm*³ Nährlösung hinzugefügt. Absorption nach 48 ^h^.

CO_2 abgegeben.............0·0163 *g*
O_2 aufgenommen...........0·0241 *g*

Kontrollversuch: 5 *g* wie zuvor behandeltes Zymin verwendet.

CO_2........................0·0099 *g*
O_2.........................0·0187 *g*

IV. 5 *g* wie zuvor behandeltes Zymin wurden wiederholt mit wässeriger Glyzerinlösung ausgezogen. Das getrocknete Produkt gab keine Oxydasereaktion. Nährlösung 15 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 abgegeben............0·0035 *g*
O_2 aufgenommen...........0·0058 *g*

Kontrollversuch: Versuchsanordnung wie zuvor.

CO_2 abgegeben............0·0039 *g*
O_2 aufgenommen..........0·0055 *g*

V. Frische Preßhefe wurde ganz nach Alberts[1] Vorschrift in Aceton-Äther eingetragen und die Dauerhefe hierauf solange mit Methylalkohol behandelt, bis das anfangs rötliche Filtrat farblos ablief. Das Produkt zeigte keine Gärungserscheinungen, wohl aber die Oxydasereaktion. Nährlösung 15 cm^3. Absorption nach 48^h. Menge des Produktes 6·48 *g*.

CO_2 abgegeben............0·0171 *g*
O_2 aufgenommen..........0·0206 *g*

Kontrollversuch: Zirka 8 *g* selbstbereiteter Dauerhefe wiederholt mit Methylalkohol gewaschen, hierauf getrocknet. Versuchsanordnung wie zuvor.

CO_2 abgegeben............0·0210 *g*
O_2 aufgenommen.. ....0·0339 *g*

---

[1] Buchner-Hahn, Zymasegärung, p. 266.

VI. Selbsbereitete, mit Methylalkohol gewaschene Dauerhefe wurde wiederholt mit wässerigem Glyzerin extrahiert. Keine Gärungs- und Oxydaseerscheinungen. Nährlösung 15 cm^3. Absorption nach 48^h. Menge zirka 7 *g*.

CO_2-Abgabe .... 0·0027 *g*
O_2-Aufnahme .... 0·0029 *g*

Kontrollversuch: Anordnung wie zuvor. Menge 6·59 *g*.

CO_2-Abgabe .... 0·0025 *g*
O_2-Aufnahme .... 0·0030 *g*

Die frische Hefe zeigte die Grüß'schen Reaktionen sehr intensiv. Auf Tetrapapier sowie Tetrasodapapier färbte sie sich nach und nach dunkelviolett, während das Papier im Umkreis farblos blieb. Die Versuche wurden auch mit zerriebener Hefe, welche mit Methylalkohol behandelt worden war, angestellt, die Resultate ergaben kein neues Moment.

Dauerhefe mit Asparagin + Chinasäure nach 48^h							
Schroder's Zymin		Zymin, mit Glyzerinlösung extrahiert	Zymin, Zymase durch CH_3OH zerstört	Zymin nach Behandlung mit CH_3OH und Glyzerinlösung	Selbstbereitete Dauerhefe nach Alberts Vorschrift	Selbstbereitete Dauerhefe wie zuvor mit CH_3OH und Glyzerin behandelt
Abgegeb. *g* CO_2	0·0415	0·0021	0·0131	0·0037	0·0191	0·0026
Aufgen. *g* O_2	0·0409	0·0044	0·0214	0·0057	0·0273	0·00295

Hier seien die Ergebnisse der Versuche angeschlossen, welche bezweckten, das Verhalten verschieden hoch erhitzter Hefe im luftleeren Raume zu studieren. Die Versuchsanordnung

war dieselbe wie früher, nur daß die Vorkehrungen, welche der Sauerstoffmessung dienten, wegfielen.

V. Hefe mit 10prozentiger Dextroselösung.

I. 10·99 *g* lufttrockene Hefe wurden in den Kolben gebracht und mittels der Quecksilberluftpumpe die Luft völlig entfernt. Hierauf 20 *cm*³ 10prozentiger Dextroselösung allmählich zufließen gelassen. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt: ....0·9759 *g*
Alkohol gebildet ....0·9988 *g*

Der gebotene Zucker war vollkommen zerlegt worden und der gebildete Alkohol sowie die entstandene CO_2 entstammen vollständig der Zymasearbeit.

II. 11·25 *g* lufttrockener Hefe wurden auf 70° erhitzt. 25 *cm*³ Zuckerlösung. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden ....0·6698 *g*, daher
Zucker zerlegt ....1·8302 *g* = 73·21%
CO_2 entwickelt ....0·8901 *g*
Alkohol entwickelt ....0·9192 *g*

III. 10·47 *g* lufttrockene Hefe wurden auf 110° erhitzt. 28 *cm*³ Zuckerlösung. Absorption nach 48ʰ.

Zucker gefunden ....2·0611 *g*, daher
Zucker zerlegt ....0·7389 *g* = 26·39%
CO_2 entwickelt ....0·3594 *g*
Alkohol entwickelt..........0·3701 *g*

IV. 10·70 *g* lufttrockene Hefe wurden auf 130° erhitzt. 29 *cm*³ Zuckerlösung. Absorption nach 48ʰ.

Gefundener Zucker ....2·6097 *g*, daher
Zerlegter « ....0·2903 *g* = 10·01%
CO_2 gefunden... ....0·1394 *g*
Alkohol .. ..0·1466 *g*

V. 11·35 *g* lufttrockene Hefe wurden auf 150° erhitzt. 30 cm^3 Zuckerlösung. Absorption nach 48^h. Der zerlegte Zucker war nicht mehr bestimmbar. CO_2-Ausscheidung 0·0020 *g*. Alkohol qualitativ.

Wurde die Temperatur noch höher getrieben, so fand eine CO_2-Abgabe nicht mehr statt.

Wurde der Hefe statt Zuckers Wasser oder Asparagin + Chinasäure verabreicht, so fand eine geringe CO_2-Abgabe nur bis etwa 70° statt, offenbar nur solange, als eine nennenswerte intramolekulare Verarbeitung des Hefeglykogens vor sich gehen konnte. Warum dieselbe nicht auch noch nach stärkerer Erhitzung im luftleeren Raum stattfindet wie in den Versuchsreihen III und IV, kann nicht mit Sicherheit gesagt werden. Vermutlich war eben früher die Wirkung der Oxydase im Spiel. Die erhaltenen Zahlen sind aber so schwankend, daß sie nicht mitgeteilt werden können.

Hefe im luftleeren Raum mit 10prozentiger Dextroselösung nach 48^h.			
	In der Gärung zerlegter Zucker	Durch Gärung entwickelte CO_2 in *g*	Durch Gärung gebildeter Alkohol in *g*
20°	2 *g* = 100%	0·9759	0·9988
70°	1·8302 *g* = 73·21%	0·8901	0·9192
110°	0·7389 *g* = 26·39%	0·3594	0·3701
130°	0·2903 *g* = 10·01%	0·1394	0·1466
150°	nicht bestimmbar	0·0020	qualitativ

VI. Versuche mit einer Hefereinkultur.

Um die Resultate der vorbeschriebenen Versuche nach allen Richtungen zu sichern, wurden die wesentlichsten Prozesse mit einer Reinkultur von obergäriger Preßhefe B wiederholt, welche ich der Freundlichkeit des Herrn Dr. H. Zikes, Dozenten an der hiesigen Brauereiakademie, verdanke.

Die reinkultivierte Hefe wurde in der üblichen Weise in drei Pasteurkolben zu je 2 *l* auf Bierwürze überimpft und acht Tage bei einer konstanten Temperatur von 25° sich entwickeln gelassen. Hierauf in der Hansen'schen Kammer auf der Nutsche abgesogen, mit sterilisiertem Wasser gewaschen und im sterilisierten Filtrierpapier unter einer Glasglocke aufbewahrt, bis sie nach der oben beschriebenen Methode lufttrocken gemacht werden konnte.

I. Hefe lufttrocken: 3·83 *g* erhielten 10 cm^3 einer Lösung, die 5% Asparagin und 5% Chinasäure enthielt. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0758 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·1002 *g*

Alkohol war keiner gebildet worden.

II. Hefe lufttrocken: 5·17 *g* wurden langsam auf 110° erwärmt. Gewichtsverlust 0·689 *g* = 13·33%. Nährlösung 13 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0391 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0831 *g*

III. Hefe lufttrocken: 4·36 *g* wurden auf 120° erhitzt. Gewichtsabnahme 0·61 *g* = 14%. Nährlösung 13 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0402 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0998 *g*

IV. Hefe lufttrocken: 4·97 *g* wurden auf 150° erhitzt. Gewichtsabnahme 0·7 *g* = 14·36%. Nährlösung 14 cm^3. Absorption nach 48^h.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0253 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0511 *g*

V. Hefe, lufttrocken: 5·25 *g* auf 170° erhitzt. Gewichtsabnahme: 0·8 *g* = 15·24%. Nährlösung 15 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 entwickelt . . . . 0·0041 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0102 *g*

VI. Hefe, lufttrocken: 4·14 *g* auf 190° erhitzt. Gewichtsabnahme: 0·83 *g* = 20%. Nährlösung 18 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2-Ausscheidung nicht mehr nachweisbar
O_2-Aufnahme . . . . 0·0038 *g*

Auch bei 205° konnte ich noch eine geringe Sauerstoffaufnahme konstatieren.

VII. Lufttrockene Hefe, welche, auf Tetrapapier gebracht, lebhafte Oxydasereaktion nach Grüss aufwies, wurde wie in Versuch V der Versuchsreihe mit Dauerhefe in Aceton-Äther eingetragen und hierauf mit Methylalkohol behandelt. Das Produkt zeigte noch immer Oxydasereaktion, wenn auch in geschwächtem Maße. Es wurden der getrockneten Dauerhefe: 4·21 *g* an Asparagin-Chinasäurelösung 10 *cm*³ geboten Absorption nach 48ʰ.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0097 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0186 *g*

VIII. Dauerhefe aus der Reinkultur der Preßhefe B wurde nach der Behandlung mit Methylalkohol noch mit wässeriger Glyzerinlösung wiederholt extrahiert. Die Oxydasereaktion trat innerhalb 24ʰ nicht mehr ein. Das getrocknete Produkt: 5·34 *g* wurde mit 10 *cm*³ der Asparagin-Chinasäurelösung versetzt. Absorption nach 48ʰ.

CO_2 abgegeben . . . . 0·0019 *g*
O_2 aufgenommen . . . . 0·0033 *g*

Es traten also hier im großen und ganzen dieselben Erscheinungen zu Tage, wie sie auch bei der früher verwendeten Preßhefe sich gezeigt hatten.

Gaswechsel nach 48[h].

Reinkultur der Preßhefe B mit Asparagin + Chinasäure.

Die Menge der verwendeten lufttrockenen Hefe war durchschnittlich halb so groß als in den früheren Versuchen.

	20°	110°	120°	150°	170°	190°	Dauerhefe mit CH_3OH behand.	Dauerhefe mit CH_3OH und Glyzerin behand.
Abgegeb. Gramm CO_2	0·0758	0·0391	0·0402	0·0253	0·0041	nicht nachweisbar	0·0097	0·0019
Aufgen. Gramm O_2	0·1002	0·0831	0·0998	0·0511	0·0102	0·0038	0·0186	0·0033

VII. Versuche mit Eupatorium adenophorum.

I. Junge, durchwegs gesunde Blätter wurden hart an der lamina abgeschnitten, zwischen sterilisiertem Filtrierpapier sorgfältig getrocknet und gewogen; es wurde darauf Rücksicht genommen, daß möglichst gleich gut entwickelte Blätter zur Verwendung gelangten. Die Bestimmung des Gaswechsels ward genau in derselben Weise vorgenommen wie bei der Hefe. Die Blätter erhielten 10 cm^3 destillierten Wassers. Absorption nach 48[h]. Der Kolben war mit einem schwarzen Tuch bedeckt.

Abgegebene CO_2 ....0·1064 *g*
Aufgenommener O_2 ... .0·0811 *g*

Gewicht der verwendeten Blätter: 7·4635 *g*.
Kontrollversuch:

Abgegebene CO_2 ....0·1219 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0899 *g*

Gewicht der verwendeten Blätter: 7·9811 *g*. Wasser: 10 cm^3.

II. Frische Eupatoriumblätter wurden zwei Tage im Exsikkator über H_2SO_4 aufgestellt und dann durch 48^h bei 35° getrocknet. Frischgewicht: 10·9888 *g*. Gewichtsabnahme: 3·9936 *g*. Absorption nach 48^h. Wasser: 14 cm^3.

Abgegebene CO_2 ....0·0876 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0838 *g*

Kontrollversuch: Frischgewicht: 11·3422 *g*. Gewichtsabnahme: 4·1918 *g*. Wasser 14 cm^3.

Abgegebene CO_2 ....0·0898 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0800 *g*

III. Frische Eupatoriumblätter bei 35° getrocknet, dann allmählich auf 50° gebracht und dort 5^h gehalten. Frischgewicht: 15·2136 *g*. Abnahme: 8·7308 *g*. Wasser: 19 cm^3. Absorption nach 48^h.

Abgegebene CO_2 ....0·0183 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0192 *g*

Kontrollversuch: Frischgewicht: 16·7009 *g*. Abnahme: 9·1244 *g*. Wasser: 19 cm^3. Absorption nach 48^h.

Abgegebene CO_2 ....0·0199 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0199 *g*

IV. Blätter wie vorher auf 110° erhitzt. Frischgewicht: 16·5512 *g*. Abnahme: 9·7653 *g*. Wasser: 20 cm^3. Absorption nach 48^h.

Abgegebene CO_2 ....0·0088 *g* CO_2
Aufgenommener O_2 ....0·0097 *g*

Kontrollversuch: Frischgewicht; 17·0572 *g*. Abnahme: 10·1234 *g*. Wasser: 20 cm^3. Absorption nach 48^h.

Abgegebene CO_2 ....0·0091 *g*
Aufgenommener O_2 ....0·0109 *g*

V. Blätter wie vorher auf 160° erhitzt. Frischgewicht: 17·2132 *g*. Abnahme: 10·5344 *g*. Wasser: 21 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

Abgegebene CO_2 .... 0·0069 *g*
Aufgenommener O_2 .... 0·0083 *g*

Kontrollversuch: Frischgewicht: 17·9031 *g*. Abnahme: 10·4993 *g*. Wasser: 21 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

Abgegebene CO_2 .... 0·0051 *g*
Aufgenommener O_2 .... 0·0067 *g*

Höheres Erhitzen lieferte keine nachweisbare CO_2 mehr, wohl aber O_2-Aufnahme.

VI. Die heftigen Fröste der ersten Jännertage des heurigen Jahres benützte ich auch dazu, Eupatoriumblätter unter längere Einwirkung einer sehr niedrigen Temperatur zu bringen und den Gaswechsel so behandelter Blätter zu studieren.

Bei 35° wie vorher getrocknete Blätter wurden in sterilisiertes Filtrierpapier eingeschlagen, drei Tage bei einer Temperatur von —16° C. frieren gelassen. Frischgewicht: 7·4811 *g*. Gewichtsabnahme: 2·0554 *g*. Wasser 12 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

CO_2-Abgabe .... 0·0213 *g*
O_2-Aufnahme .... 0·0380 *g*

VII. Frische Blätter wurden nach Buchner's Vorschrift für Hefe mit Aceton-Äther behandelt, wodurch das Plasma abgetötet wird. Hierauf bei 35° getrocknet. Frischgewicht: 10·9315 *g*. Gewichtsverlust: 3·8762 *g*. Wasser 14 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

Abgegebene CO_2 .... 0·0113 *g*
Aufgenommene O_2 .... 0·0197 *g*.

Kontrollversuch: Frischgewicht: 11·5388 *g*. Gewichtsabnahme: 4·4949 *g*. Wasser: 15 *cm*³. Absorption nach 48ʰ.

Abgegebene CO_2 .... 0·0142 *g*
Aufgenommener O_2 .... 0·0301 *g*.

Gaswechsel nach 48h.	Blätter von *Eupatorium adenophorum* mit Wasser:							
	20°	35°	50°	110°	160°	nach Trocknen bei 35° — 16°	mit Aceton-äther behandelt	mit Aceton-Äther behandelt und mit Glyzerin extrahiert
Gewicht der Blätter in Gramm	7·7223	11·1655	15·9573	16·8042	17·5581	7·4811	11·2351	
Gebotenes H_2O in Kubikzentimetern	10	14	19	20	21	12	14	
Abgegebene Gramm CO_2	0·1142	0·0887	0·0191	0·00895	0·0060	0·0213	0·0128	—
Aufgenommene Gramm O_2	0·0855	0·0819	0·0196	0·0103	0·0075	0·0380	0·0249	—

Sowohl der Preßsaft der frischen als auch der abgetöteten Blätter gab mit alkoholischer Guajaktinktur nach Zusatz von H_2O_2 eine Blaufärbung.

VIII. Die nach VII. behandelten Blätter wurden noch wiederholt mit wässerigem Glyzerin extrahiert, mit Alkoholäther gewaschen und bei 35° getrocknet. Sie zeigten keinerlei Gaswechsel mehr.

Aus den Resultaten der mitgeteilten Versuche ergibt sich, daß sich in der Zelle auch nach dem Aufhören der plasmatischen Atmungstätigkeit, wenn also das Plasma auf diese oder jene Weise abgetötet wurde, Oxydationsvorgänge abspielen, welche analog der physiologischen Verbrennung in gesetzmäßiger Weise durch die Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlendioxyd gekennzeichnet sind, daß also im Organismus unter den genannten Verhältnissen eine tote Oxydation zur Geltung kommt. Ob diese »tote Oxydation« wirklich erst einsetzt, wenn das Plasma aufgehört hat zu leben, oder ob sie schon während des normalen Verlaufes der Atmungstätigkeit wirkt, gedeckt von der im lebenden Plasma wirkenden »physiologischen Oxydation«, welche sie an der Lebensgrenze ablöst, oder ob sie nur ein Teil eines Prozesses ist, der auch im lebenden Organismus mechanisch, d.h. ohne direkte Mitarbeit der lebenden Substanz, etwa durch bloße Enzymwirkung verläuft, ist nach wie vor eine offene Frage. Die beiden extremen Standpunkte sind von Pfeffer und Reinke vertreten. Allerdings gibt auch Pfeffer[1] zu, daß die Oxydationsfermente vielleicht teilweise schon in der lebenden Zelle als Sauerstoff übertragende Katalysatoren fungieren, im allgemeinen aber nimmt er deren Wirkung als »postmortal«[2] an und die lebende Zelle darf nach ihm nicht nach den Reaktionen beurteilt werden, die »mit dem Tode und in den ausgepreßten Säften eintreten«.

Dagegen stellt sich Reinke[3] vor, daß in jeder lebenstätigen Zelle Autoxydatoren gebildet werden, welche sich unter

---

[1] Pflanzenphysiologie. I., 503, Pfeffer: Oxydationsvorgänge in lebenden Zellen. K. sächs. Akad. d. Wiss. XV., 491.

[2] L. c. p. 553.

[3] Bot. Zeitg., XLI., 6, 98 (1883).

Aufnahme von molekularem Sauerstoff unter Wasserzersetzung oxydieren; das entstehende Wasserstoffsuperoxyd vermag dann unter Einwirkung von Fermenten Oxydationen mit ähnlicher Energie auszuführen wie der atomistische Sauerstoff. Später teilte dann Reinke[1] die Versuche Brenstein's[2] mit, welcher bei Pflanzenteilen, die durch Erhitzung auf 100° getötet waren, noch beträchtliche Kohlensäureabgabe und Zersetzung von Glykose konstatieren konnte. Wiewohl nun die durch tote Oxydation gebildete CO_2menge in gar keinem Verhältnis zu der im Lebensvorgange durch die physiologische Verbrennung extrahierten steht, ist doch die Vermutung, welche Moritz Traube[3] zuerst im Jahre 1858 ausgesprochen hat, daß auch die physiologische Verbrennung im Prinzip ein katalytischer Prozeß sei, nicht von der Hand zu weisen. In neuerer Zeit hat A. Bach[4] die Entstehung von Peroxyden im Organismus bei den Oxydationsvorgängen der physiologischen Verbrennung nachgewiesen. Nach Bach und Chodat[5] enthält die lebende Zelle zu diesem Zwecke Oxydasen[6] und Peroxydasen, von welchen die Peroxydase die weitaus beständigere ist. Nach Bertrand[7] wird die spezifische Wirkung der Oxydase durch Zusatz von Manganosulfat stark beschleunigt. Das Wesentliche an den Untersuchungen von Bach und Chodat für unsere Frage ist der experimentelle Nachweis, daß Peroxydbildung auch während des Lebens der Zelle stattfindet, während ja von Pfeffer die Anschauung ausgesprochen wurde, daß die im Pflanzensaft beobachteten Oxydationsvorgänge eine postmortale Erscheinung seien. Kolkwitz[7] hat die Beobachtung gemacht, daß die »Atmung« nicht ausblieb, auch wenn Samen

---

[1] Ber. d. Deutschen bot. Ges. 1887, Bd. V, p. 216.

[2] Über die Produktion von Kohlensäure durch getötete Pflanzenteile. Brenstein, Rostocker Dissertation 1887, zitiert bei Pfeffer, Oxydationsvorgänge, p. 509.

[3] Neumeister, Betrachtungen über das Wesen der Lebenserscheinungen Jena 1903, p. 90.

[4] Compt. rend. Tome CXXIV, p. 951 (1897).

[5] Ber. d. Deutschen chem. Ges. XXXV. (1902), 2466.

[6] Kastle u. Leonhart, Am. chem. Journ. 26, 539 (1901).

[7] Compt. rend. 124, 1335 (1887).

[8] Ber. d. Deutschen bot. Ges. 1901, Bd. XIX., 285.

mehrere Stunden auf 100° erhitzt worden waren. Beyerinck[1] äußert sich folgendermaßen: Hefe, die durch mehrere Stunden auf über 100° erhitzt worden ist und infolgedessen keine Entwicklungsfähigkeit besitzt, kann nicht als tot bezeichnet werden. Der Gesamtorganismus als solcher ist jedenfalls tot, denn er assimiliert nicht mehr und ist nicht mehr entwicklungsfähig. Zerlegen wir ihn aber in seine Konstituenten, so sind diejenigen, welche als Sitz der Assimilationstätigkeit und des Wachstums zu bezeichnen sind, jedenfalls tot, nicht aber die übrigen Konstituenten der Zelle, welche mit Assimilation nnd Wachstum direkt nichts zu tun haben, denn es ist fraglich, ob diese jemals als lebend zu betrachten waren. Maximow[2] konstatierte an dem Preßsaft aus dem Mycel von *Aspergillus niger* einen der Atmung analogen Gaswechsel, welcher das Resultat der Tätigkeit zweier verschiedener Enzyme ist, einer höchst widerstandsfähigen Oxydase, welche die Sauerstoffaufnahme besorgt und eines labilaren CO_2 abspaltenden Enzyms, welches auch in Wasserstoffatmosphäre gleich energisch arbeitet, während Brenstein in seinen Versuchen ein Aufhören der CO_2abgabe im Wasserstoffstrome beobachtete. So wie ich, fand auch Maximow, daß die Sauerstoffaufnahme noch vor sich geht, wenn die CO_2abgabe längst aufgehört hat. Schon Pfeffer[3] hat darauf hingewiesen, daß beide Prozesse nicht unmittelbar zusammenhängen müssen, sondern genetisch verkettet, durch Zwischenprozesse getrennt sein können. Auch Kostytschew[4] spricht die Vermutung aus, daß CO_2ausscheidung und Sauerstoffabsorption zwei gesonderte Vorgänge sind. Daß die Oxydasen imstande sind, Glykose zu oxydieren, hat schon Hahn[5] beobachtet. Was die Ergebnisse meiner eigenen Versuche anlangt, möchte ich sie folgendermaßen zusammenfassen:

---

[1] Zentralbl. f. Bakt., II. Abt., 3, 454 (1897).

[2] Ber. d. Deutschen bot. Ges., XXII., 4, (1904), 225.

[3] L. c. 492.

[4] Pringsheims, Jahrb. d. wiss. Bot. XL, 4, 588. Über die normale und die anaërobe Atmung bei Abwesenheit von Zucker. Ber. d. Deutschen bot. Ges. Bd. XXII., pag 207 (1904). Über Atmungsenzyme der Schimmelpilze.

[5] Chem. Vorgänge im zellfreien Gewebesaft von Arum m. Ber. d. Deutschen chem. Ges. XXXIII., 3555 (1900), ferner: Scheel, Ber. d. Deutschen bot. Ges. XX., 98 (1902).

1. Die verwendete Preßhefe zeigte auf 10 prozentiger Rohrzuckerlösung nach vorhergegangener progressiver Erhitzung im lufttrockenen Zustande eine vorübergehende Erhöhung sowohl der Atmungs- als auch der Gärtätigkeit bis 50°, worauf mit Steigerung der Temperatur eine allmähliche regelmäßige Intensitätsabnahme beider Prozesse bis 110° stattfand. Das prozentische Verhältnis der in den beiden korrespondierenden Vorgängen ausgeschiedenen CO_2mengen erhielt sich bis zu diesem Punkte fast konstant.

2. Bei 130° erscheint der größte Teil der Zymase unwirksam gemacht, die ausgeschiedene CO_2 fällt zum größten Teil auf Rechnung der toten Oxydation, welche an diesem Punkte eine viel stärkere Exhalation von CO_2 und Aufnahme von Sauerstoff zeitigt, als dies während der mit der Gärung korrespondierenden physiologischen Verbrennung der Fall war. CO_2abgabe und Sauerstoffaufnahme sind offenbar das Werk von Fermenten, denn dieselben Erscheinungen kehrten wieder, wenn der Organismus durch rein chemische Mittel getötet, die Wirkung der toten Oxydation geprüft und dann noch auf die Entfernung der Fermente hingewirkt worden war. Bei 190° erfuhr die tote Oxydation eine rapide Verminderung, ohne jedoch gänzlich aufzuhören, vermutlich durch Ausschaltung der Fermentwirkung, die im bedeutend geschwächten Maße — vielleicht durch einen anorganischen Katalysator — fortgesetzt wurde, um zwischen 200 bis 205° völlig eingestellt zu werden.

3. Die mit CO_2exhalation verbundene Oxydation der bradoxydablen Substanzen findet nach erfolgter Erhitzung des Organismus auf 205° nicht mehr statt, wohl aber noch eine weitere geringe Aufnahme von Sauerstoff, so daß die Vermutung eines getrennten, wenn auch korrelativen Ablaufes beider Prozesse, etwa durch das Wirken zweier verschiedener entsprechender Enzyme, nahe liegt.

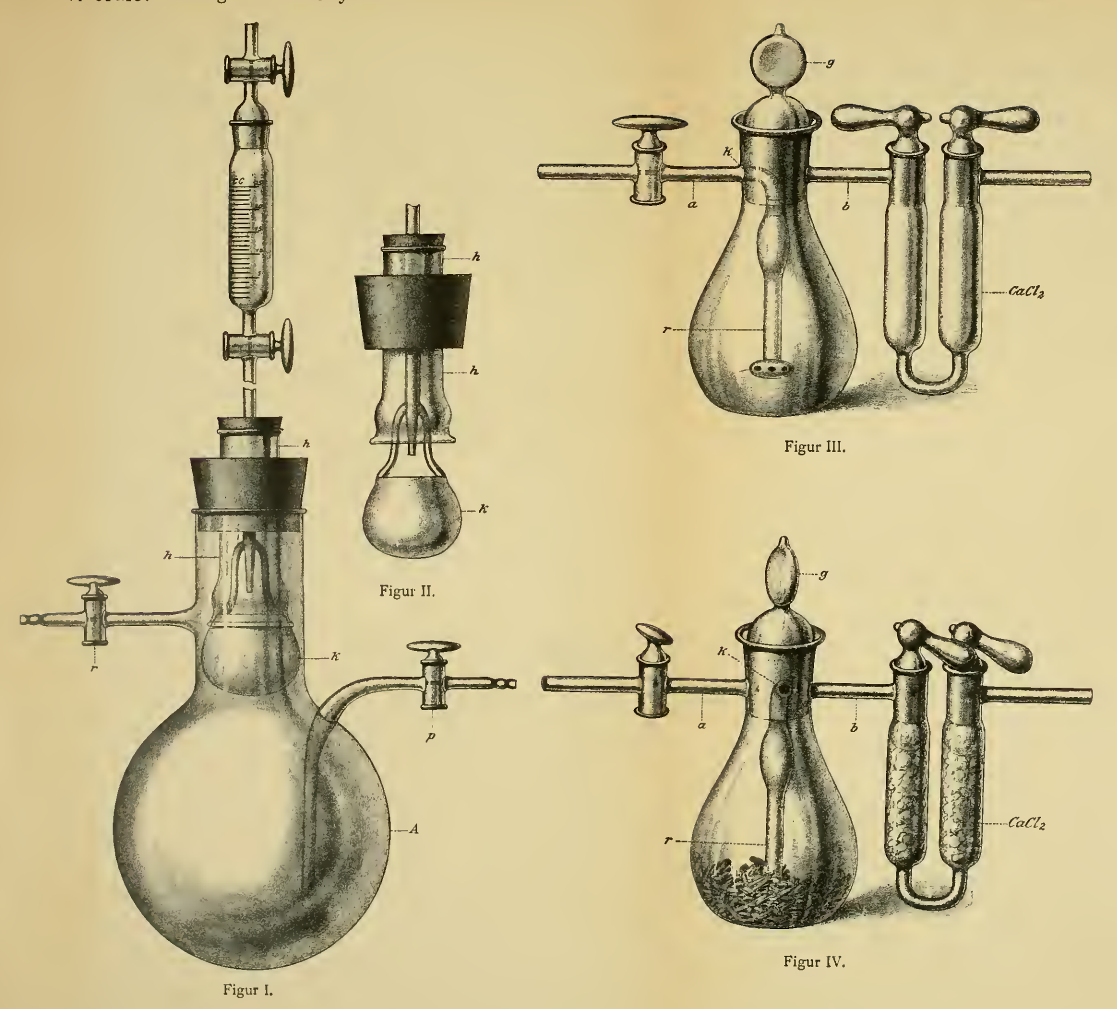
4. Ganz analoge Verhältnisse wurden bei getöteten Blättern von *Eupatorium adenophorum* beobachtet.

5. Ob die tote Oxydation ganz allgemein so zur Geltung kommt wie in den untersuchten Fällen und ob sie sich erst postmortal einstellt oder vielleicht schon in der physiologischen

Verbrennungstätigkeit des lebenden Plasmas enthalten ist, kann auf Grund der angestellten Versuche noch nicht entschieden werden.

Es ist mir eine angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Hofrat Prof. Dr. Julius Wiesner, der meine Untersuchungen jederzeit mit Rat und Tat förderte, auch an dieser Stelle meinen ergebensten Dank auszusprechen.





Figur I.

Figur II.

Figur III.

Figur IV.